

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1929

THÈSE

POUR

N^o 277

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'État)

PAR

ROBERT FRANTZ

Ancien Interne des Hôpitaux de Paris

Né à Metz, le 30 juillet 1899.

ÉTUDE

EXPÉRIMENTALE ET ANATOMO-PATHOLOGIQUE

DE L'OSTEOSYNTÈSE
MÉTALLIQUE

DANS LES FRACTURES DIAPHYSAIRES

(Travail du Laboratoire de Chirurgie Expérimentale
de la Faculté de Médecine de Paris).

Président : BERNARD CUNÉO, *Professeur*.

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS (VI^e)

1929

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1929

THÈSE

N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'État)

PAR

ROBERT FRANTZ

Ancien Interne des Hôpitaux de Paris

Né à Metz, le 30 juillet 1899.

ÉTUDE

EXPÉRIMENTALE ET ANATOMO-PATHOLOGIQUE

DE L'OSTÉOSYNTÈSE
MÉTALLIQUE

DANS LES FRACTURES DIAPHYSAIRES

(Travail du Laboratoire de Chirurgie Expérimentale
de la Faculté de Médecine de Paris).

Président : BERNARD CUNÉO, Professeur.

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS (VI^e)

1929

PROFESSEURS :

MM.

Anatomie	ROUVIÈRE.
Anatomie médico-chirurgicale et chirurgie expérimentale.	CUNÉO.
Physiologie	ROGER.
Physique médicale.	STROHL.
Chimie médicale.	DESGREZ.
Bactériologie	LEMIERRE.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales	MARCEL LABBÉ.
Pathologie médicale.	N...
Pathologie chirurgicale	LECÈNE.
Anatomie pathologique	ROUSSY.
Histologie	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale.	TIFFENEAU.
Hydrologie thérapeutique et climatologie.	MAURICE VILLARET.
Thérapeutique.	LOEPER.
Hygiène et médecine préventive.	TANON.
Médecine légale.	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	MENETRIER.
Pathologie expérimentale et comparée	RATHERY.
	CARNOT.
Clinique médicale	BEZANÇON.
	ACHARD.
	N...
Hygiène et clinique de la première enfance.	LEREBoullet.
Clinique des maladies des enfants.	NOBÉCOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	H. CLAUDE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.	GOUGEROT.
Clinique des maladies du système nerveux.	GUILLAIN.
Clinique des maladies infectieuses	TEISSIER.
Clinique de la Tuberculose	LÉON BERNARD.
	DELBET.
Clinique chirurgicale	HARTMANN.
	LEJARS.
	GOSSET.
Clinique ophtalmologique	TERRIEN.
Clinique urologique	LEGUEU.
	COUVELAIRE.
Clinique d'accouchements.	BRINDEAU.
	JEANNIN.
Clinique gynécologique	J.-J. FAURE.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie.	OMBREDANNE.
Clinique thérapeutique médicale	VAQUEZ.
Clinique oto-rhino laryngologique.	SEBILEAU.
Clinique thérapeutique chirurgicale	PIERRE DUVAL.
Clinique propédeutique	SERGENT.
Professeur sans chaire	BRANCA.



AGRÉGÉS EN EXERCICE :

ABRAMI.	DEBRÉ.	JOYEUX.	MULON.
ALAJOUANINE.	DOGNON.	LABBÉ (Henri).	OBERLING.
AUBERTIN.	DONZELOT.	LARDENNOIS.	OLIVIER.
BASSET.	DUVOIR.	LEMAITRE.	PHILIBERT.
BAUDOUIN.	ÉCALLE.	LEROUX.	QUÉNU.
BINET.	FIESSINGER.	LÉVY-SOLAL.	RICHE fils.
BLANCHETIÈRE.	GARNIER.	LHERMITTE.	SÉZARY.
BROCO.	GATELLIER.	LIAN.	VALLERY - RADOT
BRULÉ.	GIROUD.	MATHIEU.	(Pasteur).
CADENAT.	HARVIER.	MERCIER (Fern.).	VAUDESCAL.
CHABROL.	HEITZ-BOYER.	METZGER.	VELTER.
CHIRAY.	HOVELACQUE.	MONDOR.	VERNE.
CLERC.	HUTINEL.	MOURE.	

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A CEUX QUI M'ONT AIDÉ ET CONSEILLÉ
AU COURS DE CE TRAVAIL :

M. le Docteur J.-Ch. BLOCH,
CHIRURGIEN DES HOPITAUX.

M. le Docteur Y. BERTRAND,
CHEF DU LABORATOIRE CENTRAL D'ANATOMIE PATHOLOGIQUE DE LA SALPÊTRIÈRE.

M. CONTREMOULINS,
RADIOGRAPHE DE L'HOPITAL NECKER.

M. le Docteur NICOLAS,
CHEF DU LABORATOIRE DE CHIRURGIE EXPÉRIMENTALE
A LA FACULTÉ DE MÉDECINE.

M. le Docteur P. ROLLAND,
ANCIEN CHEF DE LABORATOIRE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE.

A MON COLLABORATEUR :

MAURICE MAYER,
INTERNE DES HÔPITAUX.

A M^{LES} C. MONTÉFIORE et MÉRAUD,
INFIRMIÈRES DU LABORATOIRE.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

A MON PÈRE

LE DOCTEUR ÉMILE FRANTZ

MÉDECIN-CHEF DE L'HOPITAL BELLE-ISLE A METZ.

A MON ONCLE

LE DOCTEUR GEORGES KÜSS

CHIRURGIEN DES HOPITAUX DE PARIS.

A LA MÉMOIRE DE MON ONCLE

LE DOCTEUR ERNEST AMOS.

A LA MÉMOIRE DE MON COUSIN

ALBERT HERTZOG

AIDE-MAJOR DE 1^{re} CLASSE ; † 1918.

A MA MÈRE

A TOUS LES MIENS

A MES AMIS

A MON MAITRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR BERNARD CUNÉO

PROFESSEUR D'ANATOMIE MÉDICO-CHIRURGICALE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE

CHIRURGIEN DE L'HOPITAL LARIBOSIÈRE

COMMANDEUR DE LA LÉGION D'HONNEUR

*En témoignage de mon admiration respectueuse
et de ma profonde reconnaissance.*

A MES MAITRES DANS LES HOPITAUX :

Stage :

1920 M. le Professeur CHAUFFARD.

Externat :

1921. M. le Docteur P. FRÉDET.

1922. M. le Docteur P.-E. WEIL.

1925. M. le Professeur RATHERY.

Internat provisoire :

1924. M. le Docteur LAPOINTE.

1925. M. le Docteur BRÉCHOT.

Internat :

1926. M. le Professeur agrégé AUVRAY.

1927. M le Professeur B. CUNÉO.

1928. { M. le Professeur J.-L. FAURE.

{ M. le Docteur ROBINEAU.

1929. M. le Docteur LAPOINTE.

A MES AUTRES MAITRES :

MM. J.-CH. BLOCH, DOUAY, R. GRÉGOIRE, SÉNÈQUE.

A MES CONFÉRENCIERS :

MM. AMELINE et LAPORTE.

INTRODUCTION

La réaction de l'os vis-à-vis du matériel d'ostéosynthèse métallique est une question qui a été souvent et ardemment controversée. Sous la direction de notre Maître, le professeur Bernard Cunéo, nous avons tenté de l'aborder sous le jour de l'expérimentation, en faisant chez l'animal une série d'ostéosyntheses suivant les principales méthodes utilisées couramment dans la chirurgie humaine.

Ayant à notre disposition le laboratoire de chirurgie expérimentale de la Faculté de Médecine de Paris, nous avons été à même de suivre l'évolution des os ainsi appareillés et de faire, après sacrifice des animaux, des constatations macroscopiques et histologiques qui nous ont paru fertiles en enseignements.

Appliquant chez le chien tous les appareillages métalliques, nous avons mené parallèlement deux séries d'expériences : dans la première série, nous nous sommes contenté de fixer sur des os non fracturés préalablement les différentes prothèses métalliques, pénétrantes ou non, qui sont employées habituellement chez l'homme.

Dans la deuxième série, nous avons appliqué les mêmes types de prothèses à des os préalablement fracturés.

Une telle façon de procéder, en nous entourant des conditions d'asepsie les plus rigoureuses et de toutes les garanties chirurgicales, nous a permis d'envisager l'ostéosynthèse à un double point de vue expérimental :

Réaction de l'os normal vis-à-vis du matériel métallique ;

Influence du matériel de prothèse métallique sur le foyer de fracture et sur la formation du cal.

Afin de mener à bien cette étude, nous avons envisagé pour chacun des cas successivement le point de vue

fonctionnel,
radiologique,
macroscopique,
microscopique.

Pour arriver à ce résultat, nous avons rencontré de nombreuses difficultés : les unes techniques, résultant par exemple de l'exiguïté des surfaces osseuses utilisables ou de la difficulté de l'hémostase.

Les autres post-opératoires. Les animaux, supportant mal le pansement et l'immobilisation, faisaient des efforts tels qu'il devenait pratiquement impossible de placer au repos les ostéosynthèses réalisées.

Enfin, les études microscopiques de l'os se présentent avec une grande complexité, étant donnée la difficulté de pratiquer la décalcification des pièces sans altérer profondément la substance osseuse.

Pour la réalisation de cette expérimentation délicate, pour l'étude ultérieure des lésions intimes du tissu osseux, nous avons été très heureux de pouvoir utiliser les conseils que nous ont si obligeamment donnés M. le docteur Rolland, ancien chef de laboratoire du professeur Cunéo, en ce qui concerne la technique de décalcification, et M. le docteur Yvan Bertrand, chef du laboratoire d'anatomie pathologique de la Salpêtrière, pour la lecture si délicate des coupes obtenues. Pendant tout le cours de nos recherches, notre Maître le docteur Jacques-Charles Bloch, chirurgien des hôpitaux, nous a constamment aidé de son inspiration et de ses conseils. Nous lui renouvelons ici l'assurance de notre reconnaissance respectueuse. M. le docteur Nicolas, chef du laboratoire de chirurgie expérimentale de la Faculté, a dirigé avec une constante bienveillance la marche générale des expériences réalisées et rapportées ici.

Enfin nous devons remercier tout particulièrement notre ami Maurice Mayer, interne des hôpitaux, qui a travaillé avec nous pendant toute la durée de nos expériences dans le laboratoire du professeur B. Cunéo. Les résultats que nous consignons dans cet ouvrage sont le fruit d'une collaboration amicale et continue.

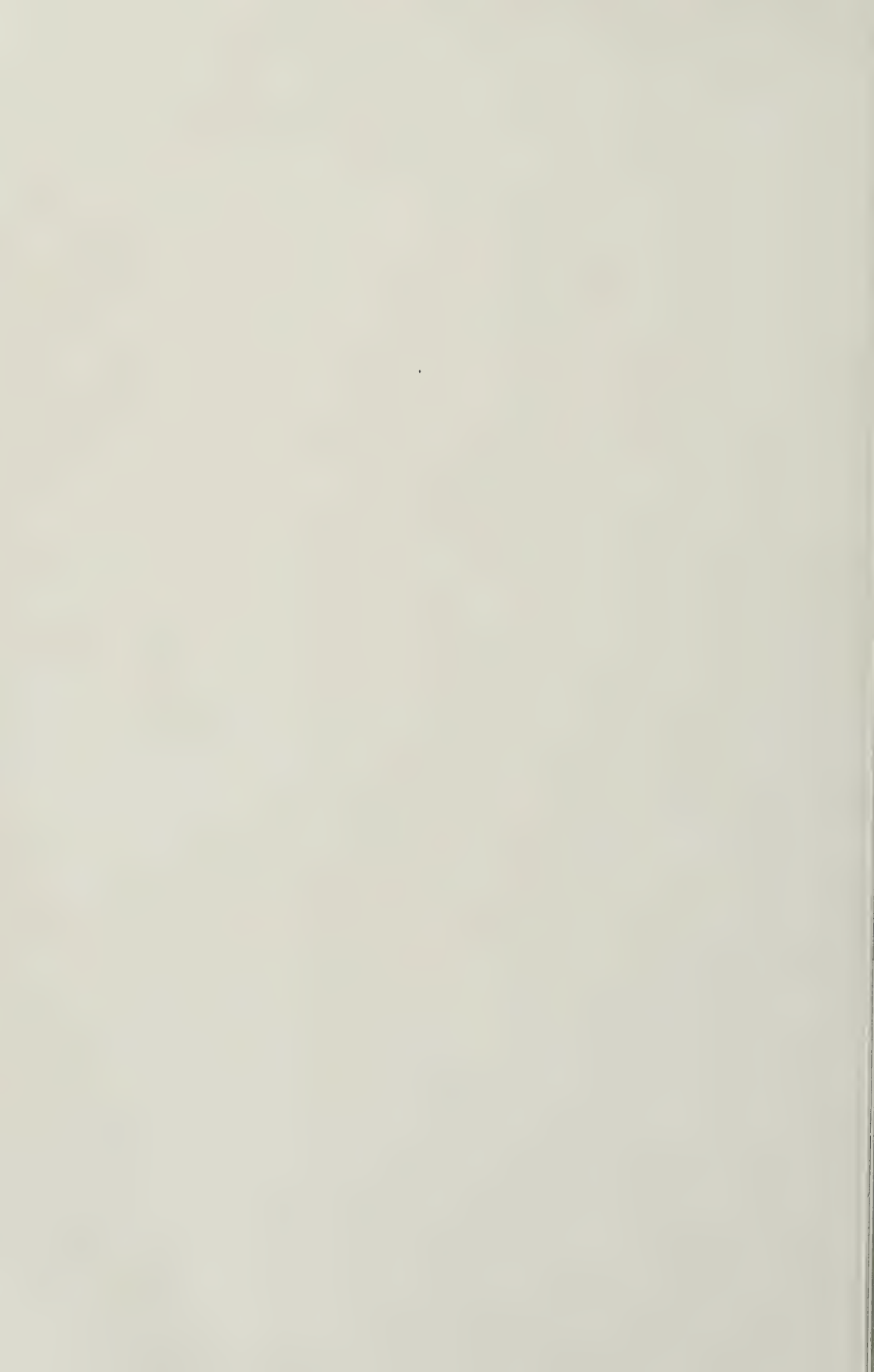
Comme nous l'avait demandé M. le professeur Cunéo, nous aurions voulu mener des études comparatives en appliquant en même temps sur chacun des chiens le même matériel fixé sur les deux os homologues, l'un étant préalablement fracturé, l'autre restant intact. C'est là une méthode idéale d'expérimentation que nous n'avons pu réaliser avec succès que sur quelques chiens. Nos recherches, en effet, n'ont pas été constamment couronnées de succès, et nous avons eu quelques mécomptes, surtout au début. Nous ne présentons ici que celles de nos expériences qui nous ont paru être suffisamment démonstratives et desquelles nous avons pu tirer des conclusions susceptibles d'être utilisées en ce qui concerne l'ostéosynthèse humaine.

Il est en effet un reproche qui pourrait être adressé au principe même

de notre travail : c'est le fait que les phénomènes étudiés par nous sont les réactions vis-à-vis du matériel métallique d'un os d'espèce animale. Or, rien ne prouverait que le tissu osseux de l'homme réagisse exactement de la même façon que celui du chien.

Accepter ce reproche serait renoncer délibérément à tous les avantages de l'expérimentation. D'ailleurs les données anatomiques et histologiques que nous avons recueillies dans les ouvrages d'anatomie du chien et dont nous avons pu constater l'exactitude au cours de nos recherches montrent que, dans l'ensemble, l'os du chien présente la même architecture et la même texture histologique que l'os humain. Du reste, il nous semble que les lois biologiques régissant la matière vivante sont fixes, et nous ne croyons pas que l'homme soit, physiologiquement parlant, essentiellement différent de l'animal quant à ses réactions biologiques générales.

Les résultats expérimentaux que nous présentons ont été obtenus par un travail prolongé durant deux années dans le laboratoire du professeur Cunéo. Ils ne prétendent pas donner réponse à tous les problèmes que pose l'étude expérimentale de l'ostéosynthèse. Il reste encore de nombreuses questions à élucider dont nous avons seulement indiqué l'importance au cours de ce travail. Ce que nous présentons n'est qu'un compte rendu détaillé de nos expériences, des méthodes d'ostéosyntheses successivement employées, et une interprétation simple des résultats obtenus. Des faits mis ainsi en évidence, nous nous sommes efforcé de tirer quelques conclusions pratiques, susceptibles d'être appliquées à l'ostéosynthèse humaine. Enfin, à plusieurs reprises, nous avons tenté d'indiquer dans quel sens il nous paraît utile et profitable, pour les chercheurs qui entreprendraient des expériences analogues, de diriger leurs efforts.



HISTORIQUE

L'ostéosynthèse métallique appliquée aux fractures de l'homme a précédé de longtemps son étude expérimentale. Les recherches théoriques relatives au mode de régénération des os n'ont été entreprises qu'à partir de la deuxième moitié du xix^e siècle. A cette époque, l'histologiste Reichert a montré que le tissu osseux ne constituait pas une entité anatomo-physiologique, mais représentait un type particulier de tissu conjonctif obéissant aux lois biologiques générales du conjonctif.

Or, pour entreprendre l'étude expérimentale des réactions de l'os vis-à-vis du matériel de prothèse métallique, il est d'une nécessité absolue de connaître d'abord les lois biologiques générales de l'os, soit normales, soit pathologiques.

On peut en effet diviser les travaux expérimentaux auxquels se rapporte la question qui nous intéresse en deux groupes : 1^o travaux relatifs à la physiologie générale de la régénération osseuse ; 2^o travaux relatifs aux phénomènes physio-pathologiques qui se produisent dans un os ayant subi une ostéosynthèse.

1^o *Les lois générales de la physiologie osseuse* ont été étudiées dès longtemps par les auteurs, soit étrangers (Johan Müller, Heinrich Müller, Virchow, Sharpey, Bruch, Kölliker), soit français (Ollier, Gosselin, Rigal, Vignal).

Plus récemment, les travaux histologiques de Cornil et Coudray ont envisagé l'évolution du cal.

Ils étudièrent le rôle respectif des éléments constitutifs de l'os dans la régénération de ce tissu. C'est au périoste qu'ils considéraient dévolue la part essentielle de constitution du cal : cal périostique complété, accessoirement, par un cal médullaire et inter-fragmentaire, ainsi que par des formations fibreuses, émanées des tissus périphériques.

Les travaux modernes montrèrent que cette conception était trop simpliste et négligeait de tenir compte de la nature intime du tissu osseux. L'os, tissu de la lignée conjonctive, subit les évolutions régressives ou reconstitutives communes à tous les tissus de cette série. Il comporte en effet une substance fondamentale collagène avec ses dépendances fibrillaires, et des cellules vivantes. Lorsque doit se produire la régénération du tissu osseux il se fait une réhabilitation cellulaire qui est sous la dépendance de phénomènes vasculaires importants. La seule particularité de ces phénomènes biologiques réside dans le fait que l'os est un tissu solide : la nature de ces particularités a été bien mise en évidence par les travaux récents, en particulier ceux de l'École de Lyon, illustrée par les noms de MM. Leriche et Policard.

Les réactions de l'os vis-à-vis des irritations de toute nature (traumatisme, corps étrangers, perturbations circulatoires) suivent le même processus régressif ou reconstructif que l'on observe dans les autres tissus. Mais dans les deux cas, pour qu'une modification quelconque puisse se faire dans ce tissu rigide, il faut que se réalise un premier stade de « décharge calcique ». Ce phénomène réside en une véritable ostéolyse, liquéfaction de la substance fondamentale qui perd son calcium; cette transformation régie par des lois physico-chimiques encore obscures est accompagnée d'une modification du régime vasculaire. A côté de ces phénomènes humoraux existe un processus cellulaire caractérisé par l'apparition d'éléments cytologiques spéciaux, les ostéoclastes, cellules multinucléées, auxquelles on attribue un rôle important dans la résorption osseuse,

Ainsi est constitué un milieu ossifiable dans lequel se produit secondairement un processus reconstructif qui procède par une double étape. Il y a d'abord réhabilitation du collagène par des éléments cellulaires multiples d'origine étrangère (tissu conjonctif avoisinant). Ce phénomène, qui ne diffère en rien du processus habituel de régénération des tissus de la lignée conjonctive, a été bien élucidé par Nageotte. Cet auteur a précisé que le mode de régénération du collagène est un fait d'ordre général que l'on observe dans toute réparation de tissu conjonctif aussi bien pour le tissu primitif que pour les variétés différenciées (fibreuse, aponévrotique, tendineux) de ce tissu.

En un dernier stade, le collagène, une fois réhabité et revivifié par les cellules, est le siège d'un dépôt calcique : dépôt qui se produit par un mécanisme de « mutation », de transfert de la substance calcaire se faisant des parties saines de l'os vers la zone à reconstituer.

Le phénomène en apparence opposé de résorption osseuse résulte d'un

processus évolutif qui n'est pas essentiellement différent du précédent. La phase d'ostéolyse prend alors une importance considérable et la mutation calcaire ultérieure ne se produit pas. Il en résulte une atrophie osseuse non seulement macroscopique, mais microscopique. La traduction en est l'amincissement de l'élément osseux qu'est la « lamelle » ; ce qui réalise au niveau de l'os compact un élargissement considérable de la lumière des canaux de Havers, et au niveau de la médullaire un amincissement des trabécules avec agrandissement des cavités intertrabéculaires.

A ce processus d'ordre général peuvent s'ajouter des modifications variables suivant les lésions surajoutées : infiltration embryonnaire, hyper ou hypovascularisation, altération des éléments graisseux ou hématopoïétiques de la moelle.

Telles sont les conceptions actuelles admises par les auteurs modernes d'une façon à peu près générale. Ces phénomènes évolutifs sont sous la dépendance de lois physiques et chimiques sur lesquelles, il est vrai, la lumière complète n'est point encore faite. Dans ces modifications, il faut encore faire jouer un rôle non seulement aux causes locales, mais aux causes d'ordre général : l'os constituant une énorme réserve de calcaire dans l'organisme, toute affection entraînant une lourde décalcification de l'économie ne sera pas sans amener des répercussions importantes sur les échanges intimes au niveau de l'os.

Ces différents processus s'observent au cours de toute altération osseuse quelle qu'elle soit : il n'y a donc pas de raison pour qu'ils n'apparaissent point lorsqu'on introduit au voisinage du tissu osseux un matériel étranger, tel que celui apporté par l'ostéosynthèse métallique.

En conséquence, pour étudier avec fruit la réaction de l'os vis-à-vis du matériel d'ostéosynthèse, il faut apprécier non pas les phénomènes extérieurs parfois grossiers, souvent inexistant, mais les processus intimes d'ordre anatomique et histologique qui sont la traduction inévitable des perturbations physiologiques produites dans le tissu.

2^e *Travaux expérimentaux sur l'ostéosynthèse.* — De nombreux auteurs français et étrangers se sont attachés à l'étude expérimentale de l'ostéosynthèse dans ses réactions vis-à-vis de l'os d'une part, du foyer de fracture d'autre part. Pour ce faire, ils se sont adressés à tous les éléments du problème, soit en y envisageant les différents types de matériel utilisé, soit en considérant la nature physique et chimique des métaux employés. Mais il semble qu'ils aient toujours abouti à des études

fragmentaires : le résultat de leurs expériences limitant suivant les cas soit au point de vue fonctionnel, soit à des conclusions macroscopiques, soit enfin, rarement, à des considérations histologiques.

a) Certains expérimentateurs ont surtout envisagé l'influence de la pression soit extérieure, soit directe ou indirecte au niveau de la colonne osseuse, sur l'évolution du foyer de fracture. De leurs travaux, il est difficile de tirer des conclusions démonstratives. Les plus grandes contradictions règnent en effet à ce sujet. C'est ainsi qu'aux travaux de Wolff, qui considère comme favorables pour la régénération osseuse les mouvements continus de traction et d'extension s'opposent ceux de Huter, de Volkmann et plus récemment de Jones, qui pensent au contraire que l'extension est défavorable, mais que les pressions soit directes sur le foyer, soit indirectes sur la continuité de l'os, accélèrent grandement la réparation de la fracture.

b) Des travaux plus précis ont envisagé la compression circulaire ou tangentielle de l'os par un matériel fortement assujéti. Les uns, ceux de Kirschner en particulier, ont envisagé l'influence d'une compression circulaire linéaire métallique lui déniait toute nocivité sur l'évolution d'une fracture. D'autres travaux ont considéré l'os, soit après application de spirales métalliques serrées (Rabl), soit après fixation de plaques utilisées couramment en chirurgie humaine (thèse de Millet de Lyon).

c) L'influence du matériel pénétrant sur les foyers de fractures ainsi appareillées a été envisagée dans les travaux de Katzenstein, Hey-Groves, Taylor, Block.

d) Enfin, toute une série de mémoires étudièrent le retentissement sur la régénération osseuse de la nature chimique du matériel utilisé. Parmi tous les auteurs qui envisagèrent ce point de vue, et sur les travaux desquels nous aurons à revenir, nous insistons sur les travaux du docteur Rolland qui étudia, dans des conditions expérimentales très précises, les réactions de l'os vis-à-vis de tous les métaux utilisables en chirurgie. Nous n'avons pas la prétention de passer en revue toutes les études relatives à l'expérimentation osseuse soit avec, soit sans ostéosynthèse. Il nous suffira d'insister sur le fait que nous n'avons rencontré aucun travail d'ensemble sur la question. Le plus souvent les résultats fonctionnels, radiologiques, ou macroscopiques, obtenus par une expérimen-

tation souvent très précise, n'étaient pas complétés par l'étude histologique indispensable.

C'est précisément une telle étude d'ensemble que nous avons en vue dans ce travail, au cours duquel nous confronterons constamment les différents tests susceptibles de nous donner un enseignement quelconque sur l'évolution des fractures traitées par l'ostéosynthèse. C'est à l'étude anatomo-pathologique des pièces obtenues que nous avons réservé tous nos soins et toute notre attention.

A. — TECHNIQUE D'EXPÉRIMENTATION

Il nous semble nécessaire de donner d'abord quelques indications sur la technique utilisée dans nos expérimentations. Après les tâtonnements inévitables du début, nous avons adopté un procédé qui nous a donné de bons résultats. En le décrivant, nous pensons rendre peut-être un service aux auteurs qui voudront entreprendre des recherches analogues. Nous espérons ainsi leur épargner une perte de temps et de matériel.

I. — TECHNIQUE OPÉRATOIRE.

Les expériences que nous avons entreprises ont été réalisées dans le laboratoire de chirurgie expérimentale de la Faculté de Médecine de Paris. Nous avons à notre disposition une installation permettant d'expérimenter dans des conditions d'asepsie rigoureuse.

Nous avons choisi comme animal d'expérimentation le chien, contrairement à la majorité des auteurs qui pour la plupart ont opéré sur le chat ou le lapin. Nous avons jugé qu'il était préférable d'avoir recours à cet animal dont les os plus robustes permettent plus facilement d'intervenir avec le matériel ordinaire.

A. — Technique générale.

ANESTHÉSIE. — Le mode d'anesthésie employé pour toutes nos expériences est l'injection intraveineuse d'un gramme de chloralose par kilogramme d'animal. L'anesthésie ainsi obtenue est profonde et d'une assez longue durée pour permettre les interventions les plus difficiles.

PRÉPARATION DE LA RÉGION OPÉRATOIRE. — Avant l'intervention, nous

passions simplement la tondeuse sur la région opératoire, que nous badi-geonnions ensuite à la teinture d'iode au 1/10.

Cette façon de procéder est parfaitement suffisante. Il est inutile de raser le chien ou d'appliquer des antiseptiques multiples, car il en résulte une irritation cutanée qui facilite l'infection secondaire.

NATURE DE L'OS AYANT SERVI A L'EXPÉRIMENTATION. — Nous avons opéré sur deux os à l'exception de tous autres : le fémur, le radius. Nous avons donné la préférence au fémur dans tous les cas où nous nous contentions de fixer sur l'os un matériel de prothèse métallique, sans réaliser de fracture. La taille considérable de cet os, la facilité avec laquelle on l'aborde sur sa face externe, l'existence d'une couche musculaire qui recouvre le matériel d'ostéosynthèse, font du fémur l'os d'élection pour de pareilles expériences.

Par contre, nous avons choisi le radius dans les interventions où nous pratiquions une fracture expérimentale. Il nous semblait indispensable, dans ce cas, d'intervenir sur un os couplé, le cubitus jouant le rôle d'une attelle d'immobilisation naturelle. Ce n'est que dans les expériences avec le manchon métallique de Contremoulins que nous avons réalisé une fracture du fémur. Ce procédé d'ostéosynthèse est d'une grande solidité, à tel point qu'il rend inutile toute immobilisation du membre opéré.

TECHNIQUE OPÉRATOIRE. — Dans les opérations portant sur le fémur, nous abordions l'os par sa face externe. Ayant incisé le vaste externe dans le sens de ses fibres, on tombe sur le fémur, libre à ce niveau de toute insertion musculaire. Suivant le matériel employé, nous dépériostons l'os sur toute sa circonférence ou seulement sur la face abordée. L'intervention est des plus simples, et peu hémorragique.

Plus complexes sont les opérations sur le radius, quoique l'os soit superficiel et facile à aborder. En effet, le matériel de prothèse placé directement sous la peau donne presque obligatoirement des ulcérations secondaires. Nous avons adopté une incision à lambeau reportant à distance la cicatrice cutanée. De plus, nous nous sommes toujours efforcé de placer notre synthèse sur la face antéro-interne de l'os afin de pouvoir recouvrir le matériel d'une couche musculaire. Une autre difficulté provient du fait que chez le chien l'intervalle inter-osseux entre le radius et le cubitus est réduit à quelques millimètres à peine. Il devient très difficile dans ces conditions de dépérioster le radius circulairement et de réaliser une fracture expérimentale de cet os, sans traumatiser du même coup le

cubitus, sans endommager gravement les tissus ou léser les tendons. Enfin l'artère inter-osseuse, qui est l'artère principale chez le chien, risque d'être déchirée. Son hémostase est d'une difficulté très grande. Or, il faut à tout prix éviter la formation d'un hématome qui rendrait l'infection secondaire inévitable.

Après une hémostase soignée et lavage de la plaie au sérum, nous refermons en trois plans : un plan musculaire profond pour recouvrir le matériel métallique le mieux possible ; un plan aponévrotique ; enfin, un surjet cutané au crin. Cette façon de suturer la peau est la plus simple et la plus rapide, c'est elle qui nous a donné les meilleurs résultats. Il faut prendre soin de ne serrer le surjet que bien modérément. Au septième jour on enlève les fils.

Soins post-opératoires. — Le pansement doit être aussi simple que possible. Nous nous sommes servi d'une compresse dépliée, fixée à la peau par quatre crins et imbibée de stérésol. En général le chien la tolère bien pendant 48 heures et cela suffit pour éviter l'infection. Les gros pansements sont contre-indiqués ; le chien, même muselé, les arrache aussitôt. En principe, il faut réaliser un pansement qui n'offre pas de prise à l'animal et couper de très près tous les fils qui dépassent.

Dans nos premières expériences, nous avons tenté d'immobiliser le membre opéré, mais le chien arrache les appareils plâtrés. Les attelles de bois ou de métal donnent des ulcérations compressives qui infectent secondairement la plaie. Le procédé dont se servent habituellement les vétérinaires pour immobiliser une fracture, et qui consiste à enrouler autour du membre malade une corde imbibée de poix, nous a semblé insuffisant. Les grands appareils plâtrés prenant la racine du membre obligent le chien à rester couché sur le flanc et l'exposent aux complications pulmonaires. Seul le procédé de la suspension, imaginé par Pawloff, semble donner de bons résultats. Pour ce faire on maintient l'animal dans une couverture perforée de quatre trous dans lesquels passent les membres. Ce procédé a le grand inconvénient de nécessiter des soins constants de propreté ; nous n'avons pu le mettre en pratique, faute d'un personnel suffisant. Aussi nous avons dû nous résoudre à abandonner toute immobilisation. C'est la raison essentielle pour laquelle nous avons réalisé les fractures expérimentales sur le radius, os couplé, maintenu par le cubitus, malgré la difficulté opératoire plus grande qui en résultait. Nous avons déjà signalé le cas particulier des manchons de Contremoulins. Nous avons en effet ostéosyn-

thésé par ce procédé trois fractures du fémur sans qu'aucune immobilisation ait été nécessaire.

B. — Technique d'ostéosynthèse.

Nous avons limité nos expériences à l'ostéosynthèse métallique. Nous nous sommes servi du matériel le plus couramment employé en France. Pour chaque technique particulière l'instrumentation appropriée a été employée. Nous avons procédé très exactement de la même façon que pour une ostéosynthèse faite chez l'homme. Les radiographies, reproduites plus loin, montrent, dans certaines expériences, l'adaptation assez défectueuse de l'appareillage aux surfaces osseuses. Mais nous rappelons à ce sujet la grande difficulté technique résultant d'une part du petit volume des os à appareiller ; d'autre part, de la disproportion manifeste entre ces surfaces osseuses et le volume du matériel construit pour être utilisé chez l'homme.

I. — PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

Application sur le fémur d'un matériel de synthèse sans fracture préalable. Les recherches ont porté sur 4 chiens, le matériel employé fut le suivant :

I. *Vis.* — Nous avons eu recours aux vis de Sherman en acier doux bleuté (10 mm. de longueur, 52/10 de diamètre, 50 filets au pouce). Nous avons foré le puits au perforateur ; taraudé ; puis serré la vis à bloc sans écraser la corticale. Précisons que nous ne pouvons indiquer le diamètre exact du taraud employé pour cette expérience. Il semble qu'il n'ait pas présenté les dimensions voulues. Chien n° 1.

II. *Vis et plaque.* — Nous nous sommes servi de la plaque et des vis de Lambotte. Plaque en acier doux nickelé de 55 mm. de longueur sur 1 mm. d'épaisseur. Les vis sont en acier doux, longues de 12 mm. avec un diamètre de 24/10 et 26 filets au pouce. Dans cette expérience, nous avons taraudé les puits des vis avec un taraud strictement approprié. Chien n° 2.

III. *Agrafe et câbles du professeur B. Cunéo.* — L'agrafe est en fil

d'acier doux bleuté de 20/10 de diamètre. Les câbles sont composés de 7 fils de fer enroulés en torsade et galvanisés. Ils présentent un diamètre de 11/10. Pour ce procédé, nous avons creusé les deux puits de l'agrafe avec un perforateur de diamètre correspondant. Nous avons serré les câbles par plusieurs tours de torsion jusqu'à tension suffisante. L'extrémité coupée des câbles a été rabattue vers l'os. Chien n° 5.

IV. *Plaque métallique fixée par des lames circulaires.* — Nous avons employé l'attelle métallique d'Hallopeau en acier doux doré. Cette plaque, en forme de navette, est incurvée pour mieux s'appliquer à la circonférence de l'os. Sur sa face convexe se trouvent plusieurs gouttières transversales destinées à recevoir les lames circulaires. De plus, elle est munie sur ses bords de 4 petites pointes qui, mordant dans l'os, fixent d'autant mieux la plaque. Comme lames nous avons eu recours à la lame classique de Parham. Chien n° 4.

II. — DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

Fracture expérimentale du radius ou du fémur avec ostéosynthèse. Ces expériences ont porté sur 7 chiens. Pour plusieurs d'entre eux, nous avons pratiqué une expérience de contrôle en appliquant sur l'autre membre le même matériel métallique, mais sans fracture préalable.

I. *Lame de Parham.* — Fracture expérimentale oblique du radius, maintenue par une seule lame de Parham. Quoique cette lame ait été serrée à bloc, les fragments présentent une certaine mobilité. Chien n° 5.

II. *Plaque métallique et lames (mauvais matériel).* — Fracture transversale du radius. Dans cette expérience nous avons volontairement choisi un matériel à mauvaise application mécanique. Nous avons combiné une synthèse réalisée par une plaque de Sherman en acier doux poli, fixée par deux lames de Parham. Ces lames ont été serrées de façon excessive; malgré cela le matériel était très mal assujéti et les fragments présentaient une légère mobilité l'un par rapport à l'autre. Chien n° 6.

III. *Agrafe du professeur Cunéo et câbles métalliques.* — Fracture oblique du radius droit avec ostéosynthèse par une agrafe et deux câbles correctement appliqués. Signalons néanmoins que pour obtenir une

contention parfaite, le professeur Cunéo place, en principe, chez l'homme deux agrafes fixées par trois câbles au moins.

Sur le radius gauche, nous avons fixé ultérieurement le même matériel sans réaliser de fracture expérimentale. Chien n° 7.

IV. *Plaque métallique et lames (bon matériel).* — Fracture expérimentale du radius gauche. Pour cette expérience, nous avons eu recours à la plaque métallique d'Hallopeau en acier doré. Celle-ci s'appliquait parfaitement à l'os; nous l'avons fixée par trois lames de Parham. La contention de la fracture était satisfaisante.

Sur l'autre radius nous avons fixé, sans fracture préalable, une plaque d'Hallopeau maintenue par deux lames de Parham. Chien n° 8.

V. *Manchon métallique.* — Nous avons enfin pratiqué trois expériences avec le manchon de M. Contremoulins. Nous reproduisons la description de ce matériel, donnée par MM. Robineau et Moruzi : « Le manchon est une plaque métallique quadrilatère. Sa largeur doit être un peu inférieure à la circonférence de la diaphyse à traiter. Sa longueur varie suivant les cas, mais est en général d'autant plus grande que le trait de fracture est court (transversal ou faiblement oblique). La lame quadrilatère est perforée de trous de 8 mm. de diamètre; ils allègent le manchon, ils permettent un contact peut-être utile entre l'os enfermé à l'intérieur du manchon et les parties molles.

« Sur un des longs côtés de la plaque quadrilatère sont percées des œillères; leur nombre varie suivant la longueur du manchon. En regard, sur l'autre bord, sont des pattes d'attaches, en même nombre, bien entendu. Elles sont placées à une distance de 2 cm 1/2 environ les unes des autres. La largeur des pattes est de 1 cm. Chaque patte est percée à son extrémité libre d'un orifice dans lequel s'agrippera le crochet du tendeur. Une fois le manchon enroulé autour de l'os, les pattes sont passées dans les œillères tendues à la manière des cercles de Parham, rabattues et agrafées. Pour résister avec certitude à l'effort de traction, l'extrémité des pattes et celle des bords du manchon dans lequel sont ménagées les œillères, sont d'épaisseur double. La soudure des deux épaisseurs de métal se fait à l'argent.

« Pour la commodité, Contremoulins a fait ses manchons de telle manière qu'une patte d'attache, son œillère et la partie correspondante de la plaque quadrilatère constituent un segment; tous les segments sont semblables. Il est donc facile d'en supprimer un extemporanément sur un manchon jugé trop long au moment de la mise en place. On coupe

facilement la plaque avec une paire de ciseaux ordinaires. Par contre, il n'est pas possible de modifier la largeur du manchon. Il faut donc en avoir deux ou trois de largeur différente, si l'on n'a pu déterminer à l'avance, par métroradiographie, le diamètre exact de la diaphyse à ceinturer.

« Le métal choisi pour la fabrication des manchons est le bronze d'aluminium Durville. Inoxydable, il est très bien toléré par l'organisme. Sur une épaisseur de 4 ou 5/10 de mm, il est parfaitement souple et peut être modelé sur des surfaces osseuses irrégulières, au point de les épouser rigoureusement. Sa ténacité, sous cette faible épaisseur, est suffisante pour résister à des efforts de traction considérables au moment du serrage. A épaisseur égale, elle est même supérieure à la ténacité de l'acier. Nous ne connaissons pas actuellement de métal qui remplisse aussi bien toutes ces conditions. »

Par ce procédé, nous avons ostéosynthésé trois fractures expérimentales du fémur. Chiens n^{os} 9, 10 et 11.

Nous avons employé des manchons servant normalement chez l'homme pour le traitement des fractures du radius. Leur dimension était parfaitement appropriée au volume du fémur de nos chiens d'expérience. Leur hauteur moyenne était de 60 mm sur 45 mm de largeur, l'épaisseur était de 5/10.

Le premier manchonnage (chien n^o 9) fut exécuté de façon correcte.

Le manchonnage du chien n^o 10 a été effectué de façon défectueuse, du fait que nous n'avions pas d'appareil à extension à notre disposition. Nous n'avons obtenu qu'une réduction insuffisante de la fracture avec léger chevauchement des fragments. De ce fait, le manchon s'appliquait mal.

Pour notre dernière expérience, portant sur le chien n^o 11, nous avons volontairement serré le manchon de façon exagérée. Nous avons voulu étudier la tolérance de l'os à une striction circulaire excessive.

II. — TECHNIQUE ANATOMO-PATHOLOGIQUE.

Après avoir observé les suites opératoires de chaque intervention pendant un laps de temps plus ou moins long, et après avoir pratiqué une radiographie de contrôle, nous avons sacrifié les chiens. Nous provoquons une mort instantanée par l'injection intra-cardiaque de 10 cm³ de chloroforme.

Aussitôt après, nous prélevons la pièce anatomique. Nous nous

sommes toujours efforcé de pratiquer l'ablation du matériel de prothèse en produisant un minimum de dégâts, afin de ne pas détruire les dispositions anatomo-pathologiques. Puis, nous fixons la pièce 24 heures dans l'alcool, avant de prélever les fragments pour examen histologique.

Pour la décalcification des pièces, nous avons employé un procédé mis au point par le docteur Pierre Rolland, ex-chef de laboratoire à la Faculté de Médecine. Cette technique nous a donné d'excellents résultats. Nous tenons à remercier le docteur Rolland qui a bien voulu nous autoriser à publier ici ce procédé.

DÉCALCIFICATION. — Après fixation des pièces pendant 10 jours dans l'alcool formolé (alcool à 95° — 100 cm³, formol 1 gramme) on procède à la décalcification par le mélange suivant :

7 parties d'acide azotique pur pour 100 parties d'alcool à 60°.

Il faut que la quantité du mélange décalcifiant soit d'environ 50 fois supérieure au volume de la pièce. Il y a intérêt à suspendre la pièce par un fil métallique afin qu'elle se trouve située au milieu du liquide. Le décalcifiant doit être changé tous les jours pendant une quinzaine, puis tous les deux jours jusqu'à décalcification suffisante. Ce procédé est de longue durée. Pour nos pièces les plus volumineuses, longues de 5 à 4 cm, il a fallu près de deux mois pour obtenir une décalcification parfaite. Mais ce procédé a le grand avantage de respecter la structure cellulaire et de permettre un examen histologique précis.

Pour les chiens n^{os} 10 et 11, nous avons employé un autre procédé plus rapide.

Après fixation simple à l'alcool pendant 24 heures, on décalcifie par la solution suivante :

Formol.	100 grammes.
Acide chloracétique cristall. . . .	20 grammes.
Eau distillée. QS.	1.000 grammes

Il faut changer le liquide tous les jours jusqu'à décalcification complète. Ce procédé est deux fois plus rapide que le premier. Pour les pièces les plus volumineuses, une décalcification de quatre semaines a été suffisante.

La décalcification ayant été obtenue par un des deux procédés, nous lavions les pièces pendant 24 heures à l'eau courante, puis nous procédions à l'inclusion à la celloïdine.

INCLUSION A LA CELLOÏDINE. — Il faut tout d'abord déshydrater les pièces par un séjour successif de 24 heures dans l'alcool à 80°, puis à 95°, enfin dans l'alcool absolu. Après un nouveau stage de 8 jours dans un mélange à parties égales d'alcool absolu et d'éther, on procède à l'inclusion proprement dite.

Nos pièces ont séjourné pendant 8 à 10 jours dans la celloïdine faible ($1/5$ de celloïdine pour $2/3$ d'alcool-éther); 8 à 10 jours dans la celloïdine moyenne ($50/0/0$), enfin 8 jours dans la celloïdine pure.

Ce procédé d'inclusion n'a nullement le mérite d'être personnel. Nous nous excusons de donner tous ces détails de technique de laboratoire. Ils ont pourtant l'avantage de préciser la très longue durée de pareilles expérimentations.

COLORATION. — Pour la coloration de nos coupes, nous avons employé l'hématéine-éosine. Pour la majorité des coupes, nous nous sommes servi de l'hématéine à la glycérine. Pour obtenir une bonne coloration, il faut laisser séjourner les coupes pendant très longtemps dans le colorant : de 24 à 48 heures. La différenciation fut faite à l'alcool chlorhydrique et à l'eau lithinée. La coloration à l'éosine n'offre rien de particulier.

Pour les coupes des chiens n^{os} 9 et 10, nous avons employé l'hématéine argentique et l'éosine. Ce procédé est beaucoup plus rapide. En général, un séjour de 20 minutes dans l'hématéine argentique donne une bonne coloration. Dans ce cas, la différenciation fut faite par l'alcool acétique.

III. -- DIFFICULTÉ DE LA MÉTHODE EXPÉRIMENTALE.

Nous n'avons pas employé dès le début de nos expériences la technique que nous venons de décrire. Comme on le verra dans nos comptes rendus opératoires, nous avons fait des essais variés avant d'adopter une technique définitive. Nous avons commis des erreurs multiples : désinfection cutanée trop active, suivies de lâchage des sutures; soins post-opératoires intempestifs, tels que pansements plâtrés ou attelles de bois. Des fautes dans la décalcification : nous avons perdu en particulier toute une série de pièces en procédant à la décalcification avant d'avoir enlevé le matériel de prothèse.

C'est précisément parce que nous avons perdu un temps précieux en tâtonnements successifs, que nous avons jugé utile d'indiquer la technique qui finalement nous a semblé la meilleure.

Insistons encore une fois sur une difficulté inhérente à pareille expérimentation. Le matériel instrumental fabriqué pour l'ostéosynthèse chez l'homme est beaucoup trop volumineux pour un animal de la taille moyenne du chien.

Nous avons pallié à cet inconvénient en choisissant pour chaque procédé le plus petit modèle existant du matériel de prothèse et en opérant sur des chiens aussi robustes que possible.

Malgré cela la difficulté technique reste très grande. Si l'on considère en plus la longue durée de ces expériences, on ne s'étonnera pas que nous n'apportions qu'un nombre relativement restreint d'observations. Elles sont le résultat de deux années d'expérimentation.

B. — COMPTES RENDUS DES INTERVENTIONS

RÉSULTATS MACROSCOPIQUES

ET HISTOLOGIQUES

I. — PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES
APPLICATION D'UN MATÉRIEL D'OSTÉOSYNTHÈSE
SANS FRACTURE EXPÉRIMENTALE

Chien n° 1 (9 kgs. — 5 ans)

FIXATION SUR LE FÉMUR DÉPÉRIOSTÉ DE DEUX VIS DE SHERMANN.

BONNE TOLÉRANCE. CHIEN SACRIFIÉ AU 44^e JOUR.

OSTÉOPOROSE AVEC MOBILITÉ SECONDAIRE DES VIS.

RÉACTIONS OSSEUSE ET MÉDULLAIRE CONSIDÉRABLES.

OPÉRATION. — Le 27 janvier 1928.

ANESTHÉSIE. — Injection intra-veineuse de chloralose.

TECHNIQUE. — Incision de 10 cm sur la face externe de la cuisse gauche.

Ayant traversé le vaste externe, on découvre la partie moyenne de la face externe du fémur. Incision du périoste que l'on repousse à la rugine. A un intervalle de 2 cm, on creuse en pleine face externe deux trous au perforateur à langue d'aspic. On taraude les puits, mais le taraud employé n'a pas le diamètre voulu. Puis on met en place deux vis de Sherman qui pénètrent en plein canal médullaire, sans atteindre le point opposé de la lame osseuse compacte. Les deux vis sont serrées moyennement. Elles tiennent parfaitement et ne « foirent » pas. La tête des deux vis fait une saillie d'environ 2 mm sur le plan osseux du fémur. Signalons que la vis inférieure est placée à la partie juxta-épiphysaire de la diaphyse. On ferme la plaie opératoire par un plan musculo-aponévrotique au catgut ; un plan cutané par points séparés au crin. Comme pansement on applique une compresse imbibée de stérésol, fixée par quatre crins à la peau.

SUITES OPÉRATOIRES. — Parfaites. Absolument aseptiques. On enlève les crins au 6^e jour. Le chien se sert normalement de la patte opérée.

Chien sacrifié le 10 mars 1928, 44 jours après l'intervention, par injection intra-cardiaque de 10 cm³ de chloroforme.

OBSERVATION MACROSCOPIQUE

La cicatrisation cutanée et musculaire est parfaite. Le fémur est recouvert d'une couche périostique continue, nacréée et transparente. On aperçoit la tête des deux vis par transparence. Elles sont entourées d'une tache noirâtre d'infiltration métallique. Au niveau de la tête des vis, le périoste légèrement épaissi est mobile et glisse sur les têtes saillantes.

Ayant incisé le périoste sur chacune des vis on constate que celles-ci sont devenues mobiles. Elles jouent dans la lame compacte. On les enlève facilement sans mouvement de tournevis. On peut les réintroduire directement dans l'orifice. Macroscopiquement on ne voit pas de modification de la surface osseuse au point d'appui de la tête des deux vis.

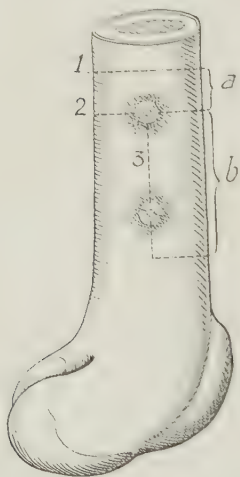


Fig. 1.
Schéma de l'intervention
et des coupes pratiquées.

Prélèvement. — On prélève à la scie deux fragments en pratiquant trois coupes dont nous reproduisons le schéma (fig. 1).

La coupe 1, transversale, passe en tissu sain. La moelle osseuse est rosée, d'aspect normal. Les trabécules sont bien visibles.

La coupe 2, également transversale, passe par le puits de la vis supérieure. La pointe de la vis a pénétré en plein canal médullaire. Les lésions macroscopiques sont nettes. On remarque une infiltration bleu-noire autour du puits de la vis.

Cette infiltration, qui représente probablement une tache de rouille, existe également à la surface de l'os dans la couche périostique; mais elle est surtout évidente dans le canal médullaire où elle s'étend à 5 mm environ.

La moelle osseuse a perdu son aspect macroscopique normal. Elle semble former de grains séparés, de telle façon que la structure réticulée a complètement disparu.

La coupe 3 est une hémisection longitudinale, passant par le puits des deux vis. Sur cette coupe on voit encore mieux les modifications de la moelle osseuse autour du puits des vis. On constate, en effet, une infiltration sous-périostée et surtout intra-médullaire; la moelle offre un aspect granité. Ces lésions s'étendent au loin et les deux foyers réactionnels se rejoignent au-dessous de la lame compacte, à telle enseigne qu'il ne reste entre les deux foyers qu'un petit espace de moelle d'aspect

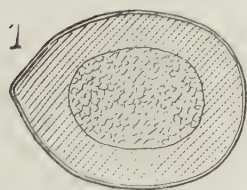


Fig. 2.

1. Coupe passant en moelle saine.

2. Coupe passant par le puits de la vis.

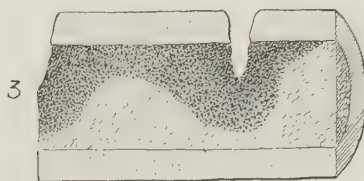


Fig. 5.

Coupe longitudinale passant par le puits de la vis.

normal. Nous reproduisons l'aspect de ces trois coupes sur le dessin schématique ci-contre (fig. 2 et 5).

Constataction microscopique.

Fragment A. — Une première coupe transversale, passant par la partie épiphysaire du fragment, à proximité du puits de la vis, montre des réactions extrêmement marquées (fig. 4).

Périoste. — Le périoste est normal sur la presque totalité de la circonférence. A l'endroit avoisinant la tête de la vis, il est épaissi et décollé; il présente des granulations de pigments ferriques qui s'accompagnent d'une légère réaction embryonnaire. On ne constate pas de polynucléaires. Au-dessous du périoste décollé existent de petits placards d'os néoformés, de structure trabéculaire.

Lame compacte. — L'os compact ne présente de lésions que dans la région située sous le périoste décollé, c'est-à-dire correspondant au point

d'appui de la tête de la vis. A ce niveau les canaux de Havers sont dilatés. Ils contiennent de très nombreuses granulations ferriques, particulièrement au voisinage du plan superficiel.

Moelle osseuse. — La moelle présente des altérations considérables. Dans tout le champ de la coupe, le tissu médullaire, normal, grasseux,

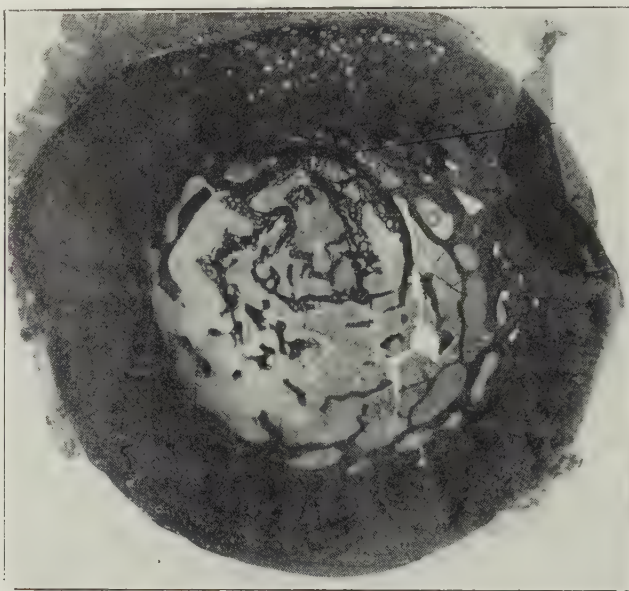


Fig. 4. — Coupe transversale passant par le point d'appui de la tête de la vis.
A ce niveau les canaux de Havers sont dilatés.

a complètement disparu. Le centre de la zone réactionnelle correspond à l'endroit où périoste et lame compacte offraient des modifications évidentes. En ce point se trouvent d'énormes blocs ferrugineux, entourés d'une coque fibreuse. De place en place, de larges plasmodes multinucléés interrompent cette coque.

Plus excentriquement, on constate une réaction cellulaire faite de lymphocytes et mononucléaires. Il y a une phagocytose intense des pigments ferriques, dont la teinte se dégrade de plus en plus et qui finalement deviennent invisibles. En somme, la moelle osseuse présente à ce niveau dans toute son étendue une structure granulomateuse.

DEUXIÈME COUPE. — Transversale, passant dans la partie diaphysaire du fragment, c'est-à-dire plus à distance de la vis.

Périoste. — Le périoste est décollé sur un court segment, il présente des inclusions ferrugineuses s'accompagnant d'une réaction embryonnaire. Le processus de macrophagie est réduit au minimum ; on retrouve les néoformations osseuses trabéculaires situées entre la lame compacte et le périoste décollé.

Lame compacte. — Les lésions sont plus atténuées, les canaux de Havers contiennent moins de pigments ferriques.

Moelle osseuse. — La coupe médullaire offre deux plages d'un aspect bien différent.

Dans la moitié correspondant au centre réactionnel existe un réseau osseux trabéculaire néoformé assez dense. La macrophagie des pigments ferriques est intense, mais les gros blocs métalliques ont disparu.

Dans la plage médullaire opposée, on constate au contraire une image qui se rapproche davantage de la norme. Ici reparaissent du tissu graisseux et de grandes cellules géantes de la moelle. La réaction cellulaire est moindre, le tissu médullaire reprend un aspect réticulé.

Cette coupe montre en somme qu'à distance de la vis la réaction médullaire se localise. Elle n'existe plus que dans un segment étroit situé au-dessous de la lame compacte à l'endroit même où était fixée la tête de la vis.

Fragment B. — Une coupe longitudinale passant par le puits de la vis offre une image d'ensemble des plus caractéristiques. Nous la reproduisons (fig. 5).

Périoste. — Le périoste, excisé à l'endroit où se trouvait la tête de la vis, n'est visible que latéralement. Il est épaissi, décollé, infiltré de pigments ferriques. La néoformation osseuse sous-périostée est plus marquée au voisinage du puits de la vis. A ce niveau, les trabécules viennent se confondre peu à peu avec la lame compacte.

Lame compacte. — Les altérations les plus évidentes de la lame compacte se trouvent au voisinage de la vis. Le puits de la vis a perdu toute structure définie. On ne voit pas dans l'os compact les arêtes osseuses du pas de vis. Les bords du cratère sont mousses et mal limités. L'os est remplacé au contact de la vis par du tissu de granulation avec une réaction cellulaire intense. Les canaux de Havers sont considérablement dilatés. La résorption osseuse est telle que la lame compacte prend un

aspect presque spongieux dans la région avoisinant le cratère de la vis.

Moelle osseuse. — Tout le trajet intra-médullaire de la vis est entouré d'une gaine de tissu osseux trabéculaire semblant irradier du trajet et pénétrant en s'amenuisant dans le canal médullaire.

Au contact même de la vis, la réaction cellulaire est très intense, à la limite de la suppuration. Les lymphocytes et mononucléaires prédominent



Fig. 5. — Chien I. — Mobilité secondaire de la vis. Mauvais taraudage, Coupe longitudinale passant par le puits de la vis. On voit les néoformations sous-périostées, la dislocation de la compacte, la réaction médullaire intense.

mais il existe une proportion appréciable de polynucléaires. De nombreux macrophages, bourrés de cellules, apparaissent un peu plus loin au contact des trabécules osseuses. Il est à remarquer que certaines trabécules néoformées sont orientées perpendiculairement à la surface de l'os. Elles sont ainsi développées au contact même de la vis.

Plus à distance dans la moelle, le réseau trabéculaire devient de plus en plus lâche, et on voit reparaitre quelques éléments normaux de la moelle : du tissu graisseux et des mégacaryocytes de plus en plus nombreux. Néanmoins, les cellules graisseuses n'atteignent pas 1/20^e de la proportion normale.

Il est remarquable que la réaction trabéculaire se prolonge très loin au-dessous de la lame compacte dans la zone qui correspond à la ligne d'implantation des vis. A ce niveau, les cônes réactionnels développés autour des deux vis se rejoignent. Cette disposition était déjà visible macroscopiquement.

En résumé, on constate histologiquement des altérations très nettes : néoformations trabéculaires sous-périostées et intra-médullaires ; raréfaction de la lame compacte qui tend à prendre un aspect spongieux. On constate, en somme, une sorte d'homogénéisation de la compacte et de la médullaire. La lame compacte disparaît au contact de la vis ; enfin on note une réaction cellulaire se trouvant à la limite de la suppuration.

Cliniquement nous avons observé une évolution aseptique, mais les vis étaient devenues secondairement mobiles.

Chien n° 2 (17 kgs).

FIXATION SUR LE FÉMUR DROIT DÉPÉRIOSTÉ D'UNE PLAQUE DE LAMBOTTE,
MAINTENUE PAR TROIS VIS.

ÉVOLUTION ASEPTIQUE. BONNE TOLÉRANCE.

PRÉLÈVEMENT 24 JOURS APRÈS L'INTERVENTION.

LES VIS NE PRÉSENTENT PAS DE MOBILITÉ SECONDAIRE.

LA RÉACTION OSSEUSE ET MÉDULLAIRE EST RESTREINTE.

OPÉRATION. — Le 27 avril 1928.

Anesthésie générale par injection intra-veineuse de chloralose.

On intervient sur le fémur droit. Incision de 10 cm sur la face externe de la cuisse. On passe à travers le vaste externe et on découvre le fémur. Après avoir incisé le périoste sur 6 cm environ on le refoule, mais seulement de la face externe de l'os. On met en place une plaque de Lambotte en acier doux nickelé munie de quatre orifices. Ce matériel est fixé par trois vis métalliques. Pour chaque vis, on a foré, puis taraudé préalablement le puits. Les vis sont correctement bloquées. A la fin de l'opération elles tiennent fortement et ne « foirent » pas.

La fermeture de la plaie est faite par un surjet musculo-aponévrotique et un surjet de rapprochement sur le tissu cellulaire sous-cutané. Enfin, un surjet intradermique au catgut collargolé 000. Comme pansement on fixe simplement par quatre points cutanés une compresse imbibée de stérésol.

SUITES OPÉRATOIRES. — Très simples.

Le 50 avril 1928, état parfait de la suture.

Le 5 mai 1928, la plaie cutanée est cicatrisée. Il n'y a pas trace de collection profonde. Le chien se tient normalement sur ses quatre pattes.

Le 20 mai 1928, la tolérance au matériel semble absolue. L'état physique et fonctionnel de la patte opérée est bon; mais le chien est atteint d'une infection pulmonaire intercurrente à laquelle il succombe.

Constatations macroscopiques.

Autopsie. — Faite 24 jours après l'intervention. On constate une cicatrisation très bonne de la peau et des muscles. On ne retrouve pas la trace de l'incision musculaire.

Le périoste est complètement reconstitué. Il est à peine épaissi, transparent, d'un aspect normal. La plaque de Lambotte est bien visible par transparence. A son niveau le périoste ne présente aucune modification. Il n'y a pas d'infiltration métallique macroscopiquement visible.

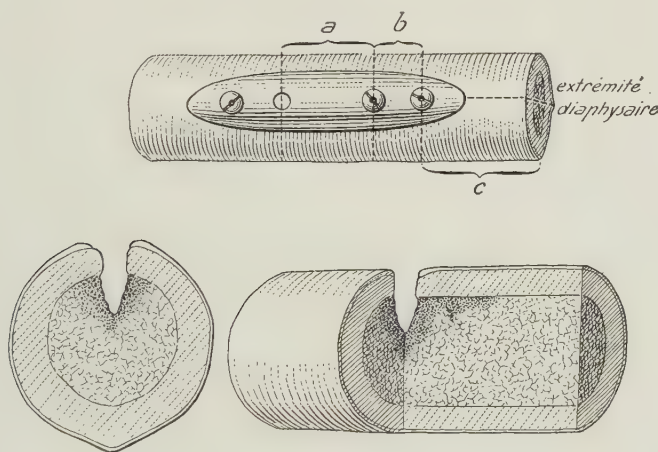


Fig. 6. — Schéma de l'intervention et des coupes pratiquées. Aspect macroscopique de la moelle. La réaction médullaire est atténuée et très localisée.

Après incision de la lame périostée, on explore chacune des trois vis. Elles sont fermement assujetties et ne foirent pas. Pour les extirper, on doit dévisser chacune d'elles.

Par-dessous la plaque, l'os paraît normal. Il n'y a pas de séquestre superficiel. La plaque n'a pas entamé l'os. De même l'os ne présente pas d'hyperplasie entourant la plaque. En passant un stylet sur le fémur, on ne perçoit pas de ressaut au niveau du bord de la plaque.

On scie le fémur de part et d'autre du matériel métallique, puis on prélève trois fragments comme le montre le schéma ci-contre.

Après la première coupe, on voit une disposition que nous reproduisons (fig. 6). On constate que la moelle osseuse présente une altération manifeste. Elle est plus foncée, brunâtre et d'aspect granuleux. Cette

modification de la moelle existe dans une zone limitée, entourant le puits de la vis. Mais, de plus, elle s'étend au-dessous de la corticale sur toute la longueur de la plaque de Lambotte. Il semble donc exister une réaction médullaire non seulement autour du matériel métallique qui pénètre dans le canal médullaire, mais également autour du matériel simplement appliqué sur la corticale. Sans entrer dans des discussions pathogéniques, tout semble se passer comme si la lame osseuse compacte, qui ne présente elle-même pas de modification apparente, avait transmis à la moelle osseuse la pression exercée sur elle par la plaque métallique.

Sur la coupe transversale des deux autres fragments, on note la même altération médullaire autour du puits des vis. Sur la dernière coupe, passant à distance des vis, la moelle est d'aspect normal, sauf dans la zone correspondant extérieurement à la plaque de Lambotte. Il existe à ce niveau une modification d'ailleurs très atténuée.

Constatations microscopiques.

Coupe longitudinale passant par le puits d'une vis (fig. 7). On constate :

Périoste. — Le périoste est invisible ayant été excisé en pratiquant l'ablation du matériel métallique.

Lame compacte. — L'os compact présente dans toute son épaisseur un élargissement appréciable des canaux de Havers. La limite excentrique de la lame osseuse est nette. Il n'y a pas trace de nécrose superficielle. Le cratère de la vis est bien dessiné. Les bords sont tapissés d'un tissu granuleux peu dense. On constate dans cette zone la présence de quelques débris métalliques de faible calibre.

Moelle osseuse. — A l'intérieur du canal médullaire on trouve autour de l'espace qui était occupé par la vis une néoproduction de tissu spongieux. Il est formé de nodules presque confluent. Cette zone réactionnelle est limitée au voisinage immédiat de la vis. Excentriquement; on constate qu'il n'existe aucune modification de la moelle osseuse. Très rapidement, la moelle reprend un aspect absolument normal.

En somme, dans le cas présent, le matériel métallique s'accompagne d'une réaction peu vive et bien limitée. La lame compacte présente une résorption osseuse atténuée. L'édification trabéculaire réactionnelle est

minime, limitée à un petit cône intra-médullaire qui l'entoure le puits de la vis. Il n'y a donc pas la tendance à l'homogénéisation de la compacte et de la médullaire qu'on observe d'une façon nette pour le chien n° 1.

Il est remarquable que ces constatations microscopiques coïncident



Fig. 7. — Chien II. — Pas de mobilité secondaire de la vis. Taraudage correct.
La lame compacte est peu modifiée. La réaction intra-médullaire est très localisée.

avec une tolérance parfaite des vis. Nous avons rapporté, en effet, qu'à l'autopsie du chien, faite 24 jours après l'intervention, les trois vis tenaient fortement dans l'os et que leur extraction n'avait pu se faire qu'à l'aide d'un tournevis.

Chien n° 3 (15 kg. — Un an).

FIXATION SUR LE FÉMUR DÉPÉRIOSTÉ D'UNE AGRAFE DU PROFESSEUR CUNÉO
MAINTENUE PAR DEUX CÂBLES CIRCULAIRES. UN TROISIÈME CÂBLE EST PLACÉ A
DISTANCE DE L'AGRAFE.

PAS DE FRACTURE EXPÉRIMENTALE.

OPÉRATION IDENTIQUE SUR LES DEUX FÉMURS.

ÉVOLUTION ASEPTIQUE. LE MATÉRIEL EST BIEN TOLÉRÉ.

CHIEN SACRIFIÉ 52 JOURS APRÈS L'INTERVENTION SUR LE FÉMUR DROIT

12 JOURS APRÈS L'INTERVENTION SUR LE FÉMUR GAUCHE.

PAS DE MOBILITÉ SECONDAIRE DU MATÉRIEL.

RÉACTION MÉDULLAIRE MINIME POUR LE FÉMUR GAUCHE, PLUS MARQUÉE
POUR LE FÉMUR DROIT.

PREMIÈRE INTERVENTION. — Le 25 avril 1928.

Anesthésie générale à la chloralose.

Incision de 10 cm au milieu de la face externe de la cuisse droite. On passe par le vaste externe. Incision du périoste que l'on repousse à la rugine dans toute la circonférence du fémur sur 5 cm environ. On désinse facilement les muscles de la crête âpre du fémur.

Mise en place, en pleine face externe, d'une agrafe du Professeur Cunéo n° 2, fixée par deux câbles en fil de fer. L'extrémité des câbles, après une torsion de plusieurs tours, est coupée, puis rabattue vers le fémur. De plus, on place un troisième câble à distance de l'agrafe. Les trois câbles sont fortement serrés comme pour une ostéosynthèse. Ils ne peuvent être mobilisés latéralement.

Après lavage de la plaie au sérum, on la ferme en trois plans : un plan musculaire au catgut, un plan de rapprochement du tissu cellulaire au catgut collargolé; enfin, un surjet intradermique au catgut. On applique un pansement léger, constitué par une simple compresse imbibée de stérésol et fixée par quatre points cutanés.

SUITES OPÉRATOIRES. — Aseptiques.

Le 27 avril 1928, bon état de la suture. Le chien a arraché la compresse de protection, mais la suture n'est pas désunie.

Le 30 avril 1928, la plaie est sèche et la suture cutanée tient bien.

Le 4 mai 1928, le surjet cutané a lâché partiellement, mais le plan musculo-aponévrotique tient.

Le 22 mai 1928, cicatrice parfaite.

Il est à remarquer que le chien se tenait sur ses quatre pattes dès le 5^e jour de l'intervention et qu'à la fin de la première semaine il pouvait courir sans difficulté. Ceci prouve que les délabrements musculaires (nous avons désinséré les muscles de la crête âpre sur 5 cm) se réparent très vite chez le chien.

DEUXIÈME INTERVENTION. — Faite le 22 mai 1928 sur le fémur gauche.

On pratique une opération analogue à la première. L'intervention est simple et ne donne lieu à aucun incident opératoire.

Les câbles sont serrés de façon identique.

SUITES OPÉRATOIRES. — Évolution aseptique de la plaie et cicatrisation parfaite.

Chien sacrifié le 4 juin 1928. L'étude comparative des deux fémurs donnera une idée de la réaction histobiologique de l'os aux agrafes du Professeur Cunéo. Le fémur droit porte depuis 52 jours l'agrafe et les câbles, le fémur gauche depuis 12 jours seulement.

Observations macroscopiques.

I. *Côté gauche.* — 12 jours après l'intervention.

La cicatrisation cutanée et musculaire est parfaite. Il n'y a pas de collection profonde. Le périoste est déjà reconstitué. Sur la face antérieure du fémur, il est représenté par un mince feuillet transparent, mobile sur l'os. Sur les faces latérales, le périoste s'épaissit et devient opaque. De plus il adhère à l'os. Enfin, à la face postérieure existe, au niveau de la crête âpre, une véritable confusion fibreuse, épaisse de plus de 5 mm, sur laquelle viennent s'insérer les muscles.

L'agrafe apparaît par transparence sur la face externe. Les câbles sont nettement visibles dans la demi-circonférence antérieure, où le périoste est mince et transparent. Ceci permet de constater qu'il n'y a aucune

réaction autour du matériel métallique : ni tache de rouille, ni épaississement périoste. Néanmoins au niveau des extrémités coupées des câbles, le périoste est épaissi. C'est l'endroit où existe la confusion fibreuse que nous avons déjà signalée, et qui est probablement due au décollement musculaire.

On enlève le matériel métallique en réduisant au minimum les manœuvres pouvant endommager le périoste ou l'os.

Puis on prélève deux pièces (fig. 8).

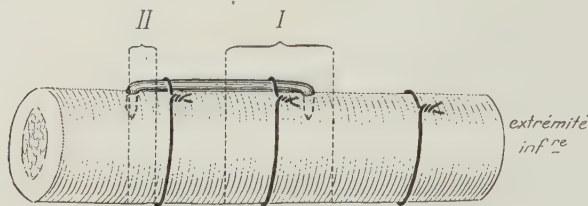


Fig. 8. — Schéma de l'intervention et des coupes pratiquées pour le prélèvement des fragments.

La pièce 1 présente en son milieu le puits du crochet inférieur de l'agrafe et, un peu plus haut, le lit du câble inférieur.

La pièce 2 présente une section transversale passant par le puits du crochet supérieur.

Il est à remarquer que macroscopiquement, on ne voit pas de dépression osseuse, ni d'irrégularité à l'endroit où se trouvaient l'agrafe et les câbles. En particulier, les câbles n'ont pas coupé l'os. En les enlevant, nous avons constaté qu'ils étaient fortement assujettis, comme au jour de l'opération.

Sur ces différentes coupes, la moelle osseuse semble d'un aspect macroscopique normal.

II. Côté droit. — 52 jours après l'intervention.

On ne trouve plus la trace de la plaie musculaire. Les muscles sont fortement insérés sur le fémur. Le périoste est reconstitué et recouvre la zone opérée. Il est hypertrophié et blanchâtre sur toute la longueur de l'agrafe métallique. Autour du crochet supérieur de l'agrafe s'est formée une hyperostose qui recouvre en appentis la demi-circonférence supérieure de l'orifice du puits. Le périoste fait corps avec cette néoformation osseuse. Au niveau du nœud de chacun des trois câbles, le périoste est particulièrement épaissi et forme un manchon encapuchonnant le nœud.

Pour extraire le matériel, on est obligé d'inciser le périoste. Le matériel métallique tient assez bien ; on le mobilise difficilement. L'agrafe du Professeur Cunéo n'a pas déterminé de sillon osseux. Par contre, les câbles sont à moitié enfouis dans une ébauche de canal osseux, comme s'il y avait eu de part et d'autre du câble une hyperplasie osseuse.

On prélève deux pièces :

La pièce supérieure : comporte le puits du crochet supérieur entouré de la saillie osseuse déjà citée ; le lit de l'agrafe, la trace circulaire du câble supérieur.

La pièce inférieure : est constituée par une demi-rondelle osseuse revêtue de son périoste et qui intéresse le sillon déterminé par le deuxième câble.

Il est à remarquer que l'aspect macroscopique de la moelle sur les différentes coupes est à peu près normal.

Il n'a pas été pratiqué de coupe intéressant le câble circulaire isolé, à distance de l'agrafe.

Constatations microscopiques.

I. *Fémur gauche*. — 12 jours après l'intervention.

a) Coupe transversale passant par la margelle du puits de l'agrafe (fig. 9).

Périoste. — Le périoste est épaissi, atteignant à un endroit près de 4 mm. Il contient très peu de blocs métalliques. Sous sa face profonde existe une néoformation osseuse d'importance très variable suivant les points considérés. Ce tissu est d'aspect trabéculaire, lâche, formé de petits ilots qui semblent irradier de la lame compacte. En un point très limité on constate une ossification à type enchondral.

Lame compacte. — La lame osseuse compacte n'offre pas de modification appréciable à distance du puits de l'agrafe. Par contre, au voisinage du cratère osseux, les canaux de Havers sont dilatés. Ils contiennent une quantité très grande de pigments ferriques, réalisant une véritable métallisation des canaux. Les bords du puits osseux sont formés par du tissu granuleux, imprégné de blocs ferrugineux.

Moelle osseuse. — La moelle offre des modifications nettes. Mais celles-ci sont peu étendues. Elles sont limitées à une zone conique dont la base périphérique, large de 5 à 6 mm, correspond au point de pénétration métallique dans la moelle. Le sommet de la zone réactionnelle atteint le centre de la moelle. Dans l'espace ainsi limité, on observe une image du même type que pour les chiens précédents. La moelle a édifié des trabécules osseuses formant un tissu spongieux lâche. Mais, fait remarquable, en dehors de cette zone réactionnelle, la moelle reprend très vite son aspect grasseux normal. Toutefois, dans le prolongement du cône réac-

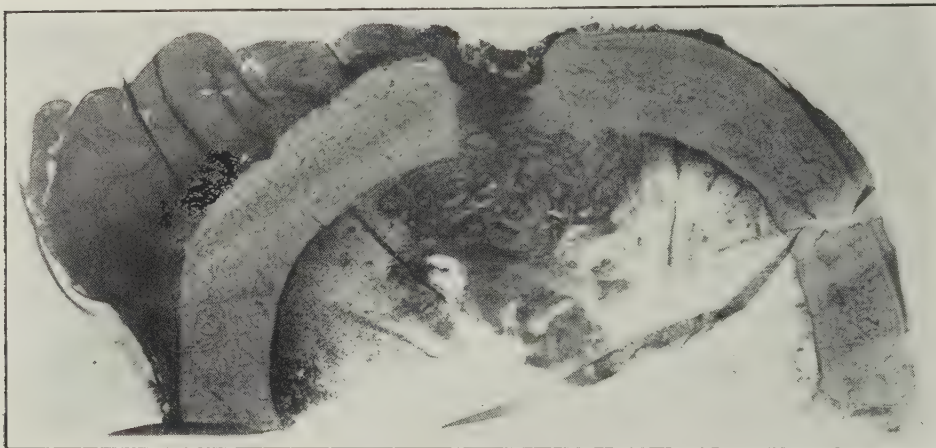


Fig. 9. — Coupe transversale passant par le puits de l'agrafe. 12 jours après l'intervention. La compacte est peu altérée. La réaction intra-médullaire est limitée à un cône entourant la pointe de l'agrafe.

tionnel, la moelle présente des blocs fibreux assez riches en lymphocytes et mononucléaires,

b) Coupe longitudinale du deuxième fragment (fig. 40).

La coupe passe approximativement par l'axe de l'os dans un plan perpendiculaire à la direction du crochet.

On retrouve au centre de la moelle un cercle de tissu spongieux. A ce niveau, la moelle est sclérosée, mais il n'existe pas de réaction inflammatoire. Cette zone ostéo-trabéculaire présente une coupe transversale du cône réactionnel qui entoure le puits du crochet.

En dehors de ce cercle, la moelle présente une augmentation de ses cellules embryonnaires, puis très vite elle reprend son aspect normal avec une grande quantité de cellules adipeuses. Cette coupe montre de façon précise combien la réaction trabéculaire est localisée.

II. *Fémur droit.* — 52 jours après l'intervention.

a) Coupe transversale du premier fragment passant sur le bord du puits du crochet (fig. 11).

Périoste. — Le périoste donne sur cette coupe des réactions très irrégulières. Sur un des côtés du cratère osseux, il forme un bourrelet

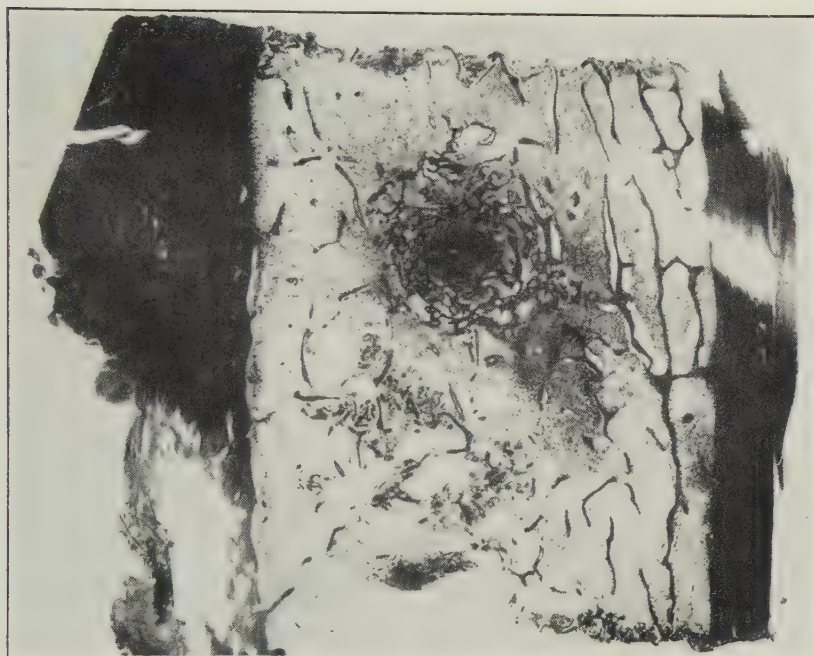


Fig. 10. — Coupe longitudinale. Au milieu de la figure on voit la section transversale du cône réactionnel.

d'os néoformé très épais, haut de 4 mm environ. Sur l'autre versant, au contraire, la réaction périostée est peu marquée.

Lame compacte. — L'os compact présente des lésions plus marquées que sur le fémur gauche. Ici on constate un élargissement considérable du cratère osseux dont le volume dépasse de loin celui de l'agrafe. Les bords du cratère ne sont plus nets ; ils sont limités par un tissu de granulation. La lame compacte, à distance du cratère, est à peine modifiée. Signalons en passant que la coupe que nous reproduisons passe dans la zone excentrique du cratère osseux et que pour cette raison, il persiste sur elle une partie de la lame compacte au fond du cratère.

Moelle osseuse. — La cavité médullaire est remplie dans sa presque totalité par un gros bourgeon de tissu spongieux, appendu au point de pénétration du crochet dans la moelle. La substance médullaire située en dehors de ce bourgeon est représentée par un croissant à pointes très effilées qui entoure partiellement ce bourgeon.



Fig. 11. — Coupe transversale passant par le bord du puits de l'agrafe.
52 jours après l'intervention.

b) Coupe longitudinale du fragment II (fig. 12).

Cette coupe est orientée dans un plan oblique par rapport à l'axe de l'os. Elle est intéressante du fait que l'on constate nettement la trace du câble circulaire. On trouve en effet, à 5 mm. de la limite réactionnelle de la moelle, sur un côté de la coupe, une légère dépression de la lame compacte, marquant le lit du câble. A ce niveau, le périoste est partiellement déchiqueté. La couche superficielle de l'os est remplacée par du tissu fibreux. Au-dessous de cette dépression, mais seulement dans son

voisinage immédiat, les canaux de Havers sont dilatés. Plus profondément, la lame osseuse compacte n'offre aucune modification. Enfin, il est remarquable que la moelle osseuse ne présente pas de signe réactionnel.

En résumé, l'étude anatomo-pathologique comparative des deux fémurs montre :

I. — 12 jours après l'intervention, la lame compacte est peu modifiée ; le cratère osseux est net ; la réaction médullaire reste très localisée.

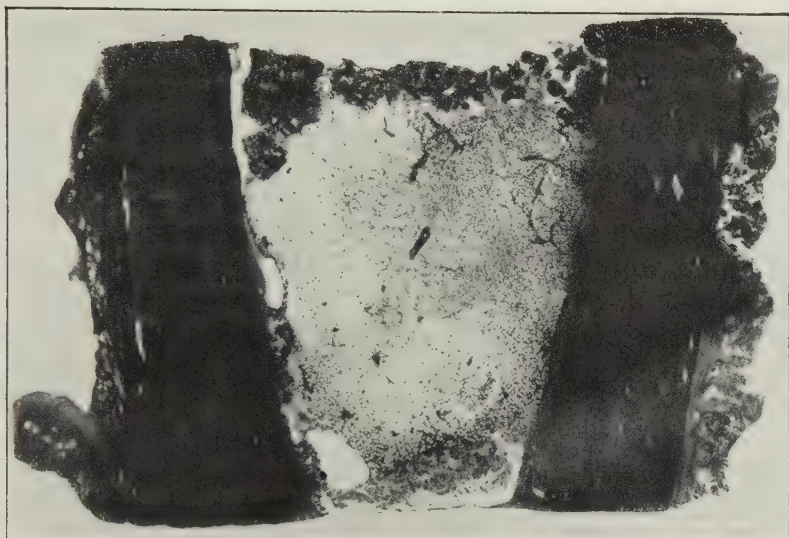


Fig. 12. — Coupe longitudinale et oblique. On voit à droite et en haut la dépression que le câble a produite sur la lame compacte.

II. — 52 jours après l'intervention, les lésions sont plus considérables : résorption marquée de la lame compacte avec élargissement du cratère ; de même la réaction médullaire est plus intense et plus étendue ; elle tend à oblitérer complètement le canal médullaire.

Fait remarquable : les câbles circulaires ne semblent provoquer que peu de lésions. 52 jours après l'intervention, le câble n'a déterminé qu'une dépression superficielle dans la lame compacte. Il est important de préciser que ce câble avait été serré strictement de la même façon qu'au cours d'une ostéosynthèse faite chez l'homme.

Chien n° IV (12 kg. — un an).

SUR CHAQUE FÉMUR APPLICATION SOUS-PÉRIOSTÉE D'UNE PLAQUE
MÉTALLIQUE MAINTENUE PAR DEUX LAMES DE PARHAM.

ÉVOLUTION ASEPTIQUE. BONNE TOLÉRANCE.

CHIEN SACRIFIÉ 70 JOURS APRÈS L'INTERVENTION SUR LE FÉMUR GAUCHE,
55 JOURS APRÈS L'INTERVENTION SUR LE FÉMUR DROIT.

RÉACTION LOCALISÉE A LA LAME COMPACTE; PEU MARQUÉE APRÈS 55 JOURS,
PLUS NETTE APRÈS 70 JOURS.

PREMIÈRE INTERVENTION. — Fémur gauche, le 50 avril 1928.

On emploie la technique habituelle pour aborder l'os dans sa partie moyenne. Après avoir dépériosté le fémur sur toute sa circonférence et sur une hauteur de 5 cm environ, on met en place, sur la face externe, une plaque métallique. Cette plaque est en acier doux bleuté. De même forme que l'attelle d'Hallopeau et incurvée comme elle, notre plaque s'en différencie par l'absence des quatre pointes latérales.

Nous avons fixé la plaque par deux lames de Parham, correctement serrées. La plaie opératoire est fermée par trois surjets successifs : sur les muscles, le tissu cellulaire et la peau. On applique un pansement léger : compresse imbibée de stérésol. L'intervention s'est passée de la façon la plus simple.

SUITES OPÉRATOIRES. — Bonnes. Le 4 mai 1928 : la plaie n'est pas désunie. Il n'y a aucun suintement.

Le 11 mai 1928 : la cicatrisation est bonne. Le chien court et ne semble pas gêné par la patte opérée.

DEUXIÈME INTERVENTION. — Fémur droit, le 4 juin 1928.

Intervention absolument identique à la première. On pose une plaque métallique maintenue par deux lames correctement serrées. Pas d'incident opératoire.

SUITES OPÉRATOIRES. — Elles sont normales. La cicatrisation est rapide. Quelques jours après l'intervention le chien court facilement. Chien sacrifié le 9 juillet 1928 par injection intra-cardiaque de 40 cm³ de chloroforme.

Constatations macroscopiques.

I. *Fémur gauche.* — 70 jours après l'intervention.

On constate que la réparation musculaire est très bonne. La crête âpre du fémur, qui avait été ruginée sur 5 cm. environ, est réhabilitée.

Le périoste est d'aspect normal sur toute la circonférence du fémur. Il recouvre complètement le matériel métallique, qui est visible par transparence. En arrière, au voisinage de la crête âpre existe une confusion fibreuse où périoste épaissi et insertions musculaires se confondent.

On incise le périoste sur la boucle de chacune des deux lames. Avant de les enlever on constate qu'elles ne présentent aucune mobilité. Puis on retire la plaque par une petite incision périostée.

Par-dessous les lames existe sur l'os un dépôt noirâtre qui est probablement un produit d'oxydation. Les lames n'ont pas creusé l'os. L'os ne fait pas saillie sur les bords des lames. Par contre, le lit de la plaque est

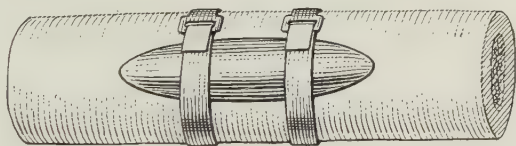


Fig. 13. — Chien IV. — Schéma de l'intervention.

entouré d'un bord surélevé d'un millimètre environ, visible à l'œil nu. Au-dessous de la plaque, le fémur a conservé son aspect normal. On ne constate pas de nécrose superficielle, mais on retrouve, en petite quantité d'ailleurs, un dépôt noirâtre d'oxydation.

On pratique deux coupes transversales du fémur. La supérieure passe à peu près par le milieu de la plaque ; l'inférieure passe au-dessous de la pointe inférieure de la plaque. Macroscopiquement la moelle est d'aspect normal. Voir schéma (fig. 15).

II. *Fémur droit.* — 35 jours après l'intervention.

On suit la même technique de prélèvement que pour le côté opposé. La

guérison musculaire et cutanée est parfaite. Le périoste est reconstitué, mince et transparent. La plaque est placée à proximité de la crête âpre. Son bord postérieur est recouvert par une production fibreuse provenant de la crête âpre. La plaque et les lames sont bien fixées. On ne peut les mobiliser. Après ablation du matériel métallique on constate que le lit de la plaque n'est pas entouré d'un bord surélevé. Il n'y a pas de séquestre superficiel. De plus, il n'existe pas de dépôt noirâtre.

On pratique les deux mêmes coupes que sur le côté opposé pour obtenir des fragments symétriques.

La moelle osseuse est macroscopiquement saine.

La comparaison entre les deux côtés fait ressortir une différence très nette :

Au 55^e jour, il n'y a ni dépôt d'oxydation, ni surélévation de l'os bordant la plaque.

Au 70^e jour, au contraire, on trouve un dépôt d'oxydation assez abondant et le lit de la plaque est entouré d'un bord osseux saillant. Dans les deux cas, droit et gauche, la tolérance de l'organisme au matériel métallique semble être parfaite. Il n'y a pas de mobilité secondaire du matériel.

Constatations microscopiques.

I. *Fémur gauche.* — 70 jours ; lésions marquées surtout au niveau de la lame compacte.

Périoste. — Le périoste présente une réaction peu intense. Il est légèrement épaissi. Sous sa face profonde existent quelques néoformations osseuses formant un réticulum spongieux, lâche.

Lame compacte. — Elle est très modifiée. Les canaux de Havers sont considérablement dilatés, en particulier dans la couche superficielle. A ce niveau, la résorption osseuse est telle que la lame compacte prend une structure spongieuse. Sur les coupes passant par le lit de la lame de Parham, ces lésions sont développées au maximum et s'observent sur toute la circonférence de l'os. Par contre, les coupes passant à distance des lames circulaires montrent des lésions localisées au voisinage de la plaque (fig. 14).

Moelle osseuse. — La moelle réagit peu. Il existe simplement une réaction embryonnaire localisée au voisinage de la lame compacte.

II. Fémur droit. — 55 jours.

Périoste. — Il existe une réaction minime du périoste, légèrement épaissi. On constate au voisinage de la plaque une incrustation métallique peu abondante. La face profonde du périoste forme, en quelques points très localisés, de fines trabécules osseuses, mais nulle part il n'y a édification de tissu spongieux.

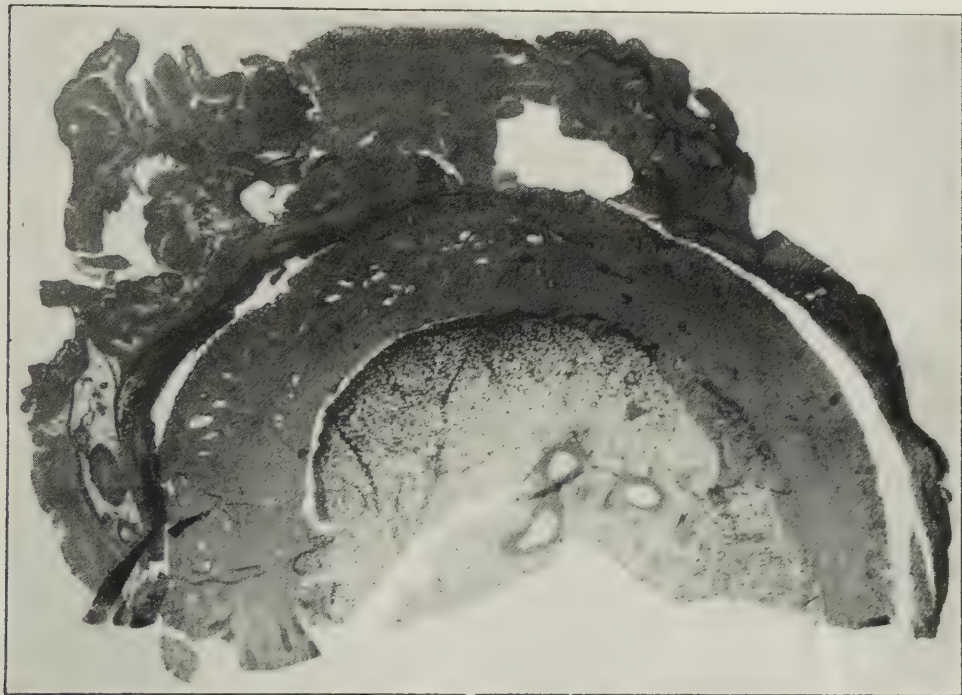


Fig. 14. — Coupe transversale passant par le lit de la plaque. On voit sur la moitié gauche de la figure des lésions marquées de la lame compacte.

Lame compacte. — Elle est peu modifiée. On constate au contact de la plaque une infiltration des canaux de Havers superficiels par des pigments ferriques. Il existe dans une zone très localisée et superficielle un élargissement des canaux de Havers. Cette zone correspond à l'emplacement de la plaque métallique.

Moelle osseuse. — Aspect presque normal. On voit de très nombreuses cellules graisseuses. Il existe une réaction cellulaire modérée, localisée à

la zone périphérique de la moelle dans la moitié située sous la plaque métallique. Il n'y a pas édification d'os trabéculaire.

En résumé, les lésions s'accroissent avec le temps. Après 35 jours elles sont encore peu marquées; au 70^e jour elles sont nettes. Mais la réaction s'observe surtout au niveau de la lame compacte, qui présente une image de résorption progressive au point de prendre dans sa zone périphérique une structure spongieuse. La moelle osseuse reste presque indifférente et n'est réactivée que dans la partie adjacente à la lame compacte.

II. — DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES

APPLICATION D'UN MATÉRIEL D'OSTÉO-SYNTÈSE AVEC FRACTURE EXPÉRIMENTALE

Chien n° V. (19 kgs. — Deux ans.)

FRACTURE EXPÉRIMENTALE DU RADIUS DROIT.

OSTÉOSYNTÈSE RÉALISÉE PAR UNE LAME DE PARHAM.

CONTENTION INSUFFISANTE.

ÉCHEC PAR SUPPURATION.

CHIEN SACRIFIÉ AU 44^e JOUR.

MOBILITÉ SECONDAIRE DU MATÉRIEL ET DES FRAGMENTS.

OPÉRATION. — Le 10 mars 1928. Anesthésie générale par injection intra-veineuse de chloralose.

On fait une incision curviligne, longue de 10 cm, mettant à nu la face externe du radius. On incise le périoste que l'on repousse circulairement à la rugine. Au cours de l'intervention, on ne blesse pas l'artère inter-osseuse. Puis on creuse au perforateur quatre trous pour préparer une fracture oblique. On complète la fracture au ciseau. Le trait de fracture est irrégulier, esquilleux, fortement oblique.

On fixe alors une lame de Parham placée au milieu du trait de fracture. La lame est serrée correctement, mais elle ne suffit pas à donner une immobilité parfaite aux deux fragments.

Après lavage de la plaie au sérum et hémostase soignée, on ferme par trois surjets superposés : musculo-aponévrotique ; surjet de rapprochement sur le tissu cellulaire sous-cutané ; surjet intradermique au catgut collargolé.

On applique un pansement ouaté bien garni, recouvert d'une bande plâtrée.

SUITES OPÉRATOIRES. — 15 mars 1928. Le chien n'a pas arraché le pansement. La patte est très œdématiée, ce qui nous oblige à enlever le plâtre. Un petit hématome s'est formé. La suture cutanée tient bien. On refait un pansement que l'on couvre d'une bande plâtrée.

Le 17 mars 1928, le chien a arraché son plâtre. La plaie est désunie sur deux centimètres.

Radiographie. — Le 26 mars 1929 ; 15 jours après l'intervention.

La radiographie montre que la lame de Parham est placée correctement. Elle ne s'est pas déplacée. On voit une légère ébauche de cal entre les deux fragments. On constate de plus une très légère réaction osseuse périphérique à distance du matériel métallique.

Avril 29, la plaie se fistulise. Le chien est sacrifié le 25 avril, 44 jours après l'intervention.

Constatations macroscopiques.

Le membre opéré présente deux fistules, dont l'une est située sur la plaie opératoire, l'autre sur la face interne de la patte. L'exploration au stylet montre que les fistules conduisent sur l'os au niveau du foyer de fracture.

Le périoste a proliféré et forme une gangue fibro-cartilagineuse qui augmente d'épaisseur en progressant des

deux extrémités du membre vers le foyer de fracture. Le périoste tient solidement à l'os. Mais à deux centimètres du trait de fracture, il se détache et forme à son niveau une cavité suppurative du volume d'une noix. Dans cette poche, l'os fracturé se trouve à nu entouré du matériel métallique. L'os est d'aspect nécrotique. La lame de Parham n'est



Fig. 15.

plus solidement assujettie. Il existe une mobilité complète des deux fragments osseux, l'un par rapport à l'autre.

La suppuration rend la pièce inutilisable pour l'examen histologique. Cette observation montre deux faits importants sur lesquels nous devons insister :

Le périoste hypertrophié est décollé au niveau du foyer de fracture formant à cet endroit une cavité de suppuration. Le matériel métallique est devenu complètement mobile. Les extrémités osseuses sont nécrosées.

Ces mêmes faits ont été fréquemment observés par d'autres auteurs qui ont réalisé sur l'animal des ostéosyntheses expérimentales. Hey-Groves, en particulier, leur accorde une grande importance. Il en tire des conclusions sur lesquelles nous aurons l'occasion de revenir ultérieurement.

Chien n° VI. (15 kgs. — Deux ans.)

FRACTURE EXPÉRIMENTALE DU RADIUS DROIT
AVEC PERTE DE SUBSTANCE DE 5 MM. ENVIRON.

OSTÉOSYNTHÈSE RÉALISÉE PAR UNE PLAQUE DE SHERMANN FIXÉE PAR DEUX LAMES DE PARHAM. LES LAMES DE PARHAM SONT SERRÉES DE FAÇON EXCESSIVE. MALGRÉ CELA LE MATÉRIEL RESTE MOBILE. ÉCHEC PAR SUPPURATION. NÉCROSE OSSEUSE AVEC SÉQUESTRATION AU-DESSOUS DES LAMES.

PRÉLÈVEMENT AU 55^e JOUR APRÈS L'INTERVENTION.

INTERVENTION. — Le 5 décembre 1927.

Après la préparation habituelle du champ opératoire, on fait une incision curviligne de 10 cm de longueur, qui mène sur la face antéro-externe du radius droit. On incise le périoste et on rugine l'os circulairement sur 5 cm de long. L'artère interosseuse est blessée au cours de ces manœuvres. Son hémostase est d'une difficulté très grande. Puis on sectionne le radius transversalement à la scie de Gigli. Afin d'éviter les lésions osseuses par échauffement, on inonde pendant ce temps opératoire la plaie avec du sérum. Puis on enlève à la pince gouge les deux tranches de section en réalisant ainsi une perte de substance, d'environ 5 mm.

Comme matériel d'ostéosynthèse, on met en place une plaque de Sherman fixée par deux lames de Parham. Les lames sont serrées à bloc. En particulier, la supérieure est serrée de façon excessive. Malgré cela, la contention est insuffisante. Les deux fragments osseux présentent une légère mobilité, l'un par rapport à l'autre. Le matériel est lui-même mal assujéti sur chaque fragment. On ferme la plaie en deux plans : un surjet musculaire profond, un surjet cutané au crin. Pansement simple par une compresse imbibée de stérésol.

SUITES OPÉRATOIRES. — Le 9 décembre 1927, la patte est fortement œdématisée. Il n'y a pas d'hématome. La suture cutanée tient.

Le 14 décembre, on enlève le surjet cutané. La plaie est désunie sur quelques millimètres.

Le 18 décembre 1927, l'œdème de la patte a complètement disparu. La plaie est fistulisée et suppure.

Le 9 janvier 1928 : même état local. Le chien n'appuie pas sur le membre opéré. Nous reproduisons la radiographie faite à ce jour, 55 jours après l'intervention (fig. 16).

Radiographie. — La plaque de Sherman est mal appliquée sur le radius. Son extrémité inférieure déborde sur l'espace interosseux. Au niveau du foyer de fracture, situé entre les deux lames de Parham, on constate que les deux fragments sont en regard, mais non en contact. Il n'existe pas de cal radiologiquement visible. Des altérations considérables de l'os au voisinage immédiat du matériel métallique sont évidentes. Pour le fragment supérieur, on voit au niveau de la limite supérieure de la plaque une zone claire, répondant à un trait de fracture secondaire. Il y a séquestration du fragment intercepté. Ces modifications semblent dues au serrage excessif de la lame supérieure. Au niveau du fragment inférieur, on note au bord inférieur de la lame une encoche profonde du radius avec néoformation osseuse avoisinante. Cette image est extrêmement démonstrative en ce qui concerne les altérations que peut apporter un matériel trop fortement assujéti et ne réalisant cependant pas une immobilité parfaite des fragments. En fait, on observe : 1° de la nécrose osseuse avec séquestration sous un matériel circulaire trop serré ; 2° de l'ostéoporose à distance, au voisinage d'un matériel mobile. Le chien est sacrifié le 9 janvier 1928 par injection intracardiaque de chloroforme.

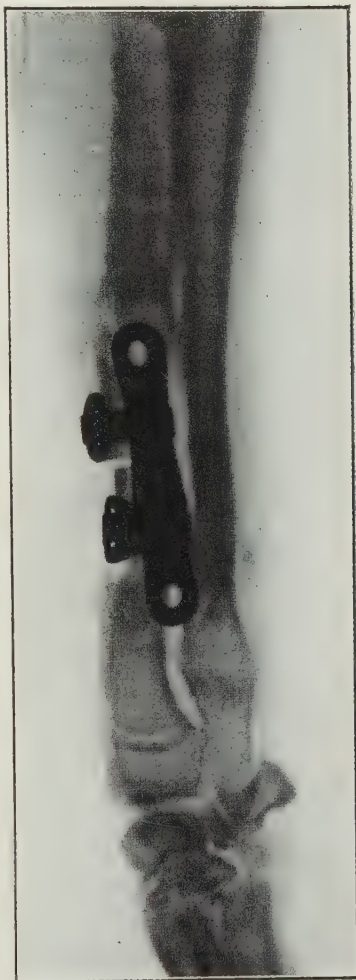


Fig. 16.

Constatations macroscopiques, 55 jours après l'intervention.

La patte est fortement augmentée de volume. La peau est adhérente dans la profondeur au tiers moyen du membre. La fistule cutanée communique avec le foyer de fracture. Le périoste est fortement épaissi. Au niveau du foyer de fracture existe une petite cavité, limitée par le périoste décollé et infiltré. L'extrémité des deux fragments est d'aspect nécrotique. Il existe un séquestre formé par le segment d'os étranglé par la lame supérieure. La fracture expérimentale présente une absence complète de consolidation. Le matériel métallique est mobile sur l'os; les deux fragments sont mobiles l'un sur l'autre.

L'examen histologique de cette pièce n'a pu être pratiqué à cause d'une erreur de technique au cours de la décalcification.

Chien n° VII. (22 kgs. — 5 ans.)**I. — FRACTURE EXPÉRIMENTALE DU RADIUS DROIT AVEC OSTÉOSYNTHÈSE
RÉALISÉE PAR UNE AGRAFE CUNÉO ET DEUX CABLES.****II. -- APPLICATION DU MÊME MATÉRIEL SUR LE RADIUS GAUCHE SANS FRACTURE.**

ÉVOLUTION ASEPTIQUE. BONNE TOLÉRANCE.

CHIEN SACRIFIÉ 65 JOURS APRÈS LA FRACTURE, 27 JOURS APRÈS LA
DEUXIÈME INTERVENTION.

RÉACTION HISTOLOGIQUE TRÈS MARQUÉE DU COTÉ DE LA FRACTURE.

PREMIÈRE INTERVENTION. — Le 7 mai 1928. Fracture expérimentale du radius droit avec ostéosynthèse.

Incision curviligne de 10 cm qui conduit sur le radius droit. On rugine le radius circulairement sur 6 cm. Section transversale du radius à la scie de Gligi dans son tiers moyen. Du sérum baigne la plaie pour éviter l'altération de la tranche osseuse par la chaleur. Une agrafe de Cunéo est placée sur la face externe du radius et maintenue par deux câbles galvanisés, serrés correctement. A la fin de l'intervention, le radius semble parfaitement immobilisé : on ne peut pas déplacer un fragment sur l'autre. La plaie est suturée en trois plans. On fait un pansement ouaté volumineux, protégé par une bande plâtrée.

SUITES OPÉRATOIRES. — Le 9 mai 1928 : le chien a arraché son pansement. La patte est augmentée de volume. La suture tient. Il n'y a pas de sérosité, même par expression. On laisse la plaie sans pansement.

Le 12 mai 1928 désunion partielle de la plaie. Il n'y a pas de suppuration profonde.

Le 12 juin 1928 la patte a repris son volume normal. La plaie est parfaitement cicatrisée. En marchant le chien n'appuie pas sur la patte opérée. A la palpation, on sent au niveau de la fracture un léger gonflement faisant corps avec l'os, la pression n'est pas douloureuse.

DEUXIÈME INTERVENTION. — Le 13 juin 1928. Même intervention sur le radius gauche ; mais sans fracture. On suit exactement la même technique que pour le côté opposé. On fixe une agrafe de Cunéo maintenue par deux câbles. Le matériel est bien appliqué et ne présente pas de mobilité. Fermeture de la plaie en trois plans. Pansement habituel ; une compresse imbibée de stérésol.

SUITES OPÉRATOIRES — Le 16 juin 1928. Suture parfaite. Pas de suintement, la patte est à peine œdématiée.

22 juin 1928. — La cicatrisation se fait normalement.

9 juillet 1928. — Guérison complète de la patte gauche. La patte droite fracturée est toujours un peu plus volumineuse que normalement.

Radiographie. — Le 9 juillet 1928.

I. *Côté gauche.* — 27 jours, sans fracture.

Le matériel est bien toléré. Il n'y a aucune réaction radiologiquement visible. En particulier, on ne voit pas d'ostéoporose ni autour des crochets, ni au voisinage des câbles circulaires (fig. 17).

II. *Côté droit.* — 65 jours avec fracture.

On note un cal osseux bien visible qui s'accompagne d'un début de synostose radio-cubitale. Il existe de l'ostéoporose très nette autour des puits de chacun des crochets pénétrant dans l'os. Il faut remarquer une plage claire intéressant la partie de l'interligne immédiatement sous-jacente à l'agrafe (fig. 18).

Chien sacrifié le 9 juillet 1928, 65 jours après la première intervention, 27 jours après la deuxième.

Constatations macroscopiques.

I. *Côté droit.* — 65 jours, avec fracture.

La cicatrice cutanée est souple et mobile. Au niveau de la synthèse existe un épaissement fibreux de 2 à 3 mm. opaque, qui masque le matériel métallique. Cet épaissement adhère aux muscles et représente la cicatrice des délabrements musculaires. A travers lui on sent à la palpation les deux extrémités de l'agrafe Cunéo. On incise à ce niveau. Après avoir traversé cette couche fibreuse, on trouve une lame nettement individualisée, transparente, mobile sur l'os. Il s'agit là du périoste néoformé. L'ayant incisé, on retire le matériel d'ostéosynthèse

en produisant un minimum de dégâts. Après ablation du matériel de



Fig. 17.

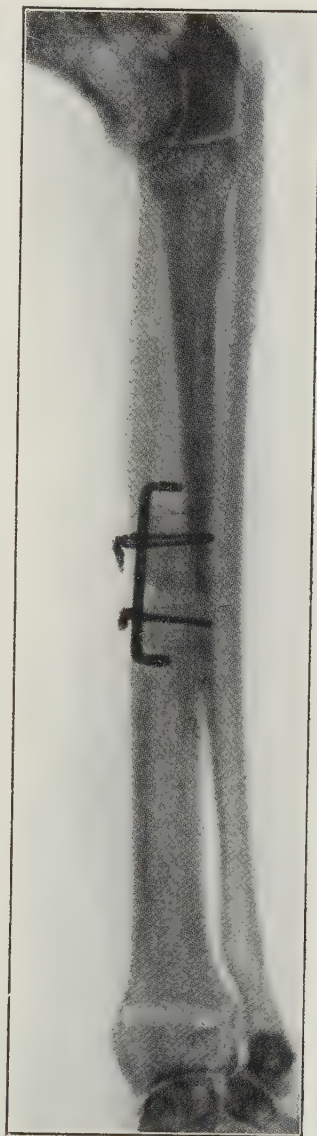


Fig. 18.

prothèse, on constate que l'agrafe Cunéo était devenue légèrement mobile : les puits osseux contenant les crochets de l'agrafe sont exagéré-

ment larges. Les deux fragments du radius ne sont pas consolidés complètement. Afin de laisser à la pièce une attelle de soutien, on n'enlève pas le cubitus, qui reste accolé au radius.

Après fixation à l'alcool à 60° pendant 24 heures, on prélève un fragment. Celui-ci comporte le foyer de fracture et tout l'emplacement du matériel prothétique. Le cubitus est laissé à côté du radius et sectionné à la même hauteur.

II. *Côté gauche.* — 27 jours après l'intervention ; sans fracture.

La cicatrice cutanée est parfaite. On trouve, comme sur l'autre patte, une couche fibreuse opaque qui adhère aux muscles et recouvre le matériel de prothèse. Le périoste est moins bien différencié que du côté opposé. On enlève le matériel métallique de la même façon. Il n'y a aucune mobilité secondaire du matériel. Après fixation de la pièce à l'alcool, on prélève un fragment, long de 4 cm. Les deux tranches de section passent à 5 mm des puits de l'agrafe. Les tranches médullaires sont d'un aspect macroscopique normal.

Constatations microscopiques.

L'étude anatomo-pathologique de ce cas fut complexe. La décalcification dura près de deux mois à cause du volume considérable des fragments prélevés. Malgré cette longue durée de décalcification, les blocs de celloïdine étaient difficiles à couper.

I. *Radius droit.* — Avec fracture datant de 65 jours.

A. *Coupe transversale* passant un peu au-dessus du foyer des fractures (fig. 19).

Sur la coupe on voit le radius et le cubitus juxtaposés. On est immédiatement frappé par l'existence d'une réaction fibreuse périphérique très marquée. Elle est due sans aucun doute au traumatisme que le membre a subi pendant l'intervention. Nous avons déjà signalé, qu'au cours des expériences portant sur le radius, le cubitus était forcément traumatisé, à cause de l'exiguïté de l'espace interosseux. Ces lésions se traduisent sur la coupe par une véritable fusion en un seul bloc des deux os qui sont unis par un épais tissu fibreux. Le périoste saute d'un os à l'autre et il est très difficile de préciser la limite de chacun.

Pour le radius on note un épaississement du périoste fusionné avec la

couche fibreuse périphérique. Dans le périoste on constate une réaction embryonnaire vive en particulier du côté de la lame osseuse. Sous le périoste existe un tissu réactionnel caractérisé par des zones ostéoïdes, surtout marquées dans l'espace fibreux interosseux. On retrouve également çà et là des ébauches trabéculaires sous-périostées. La lame

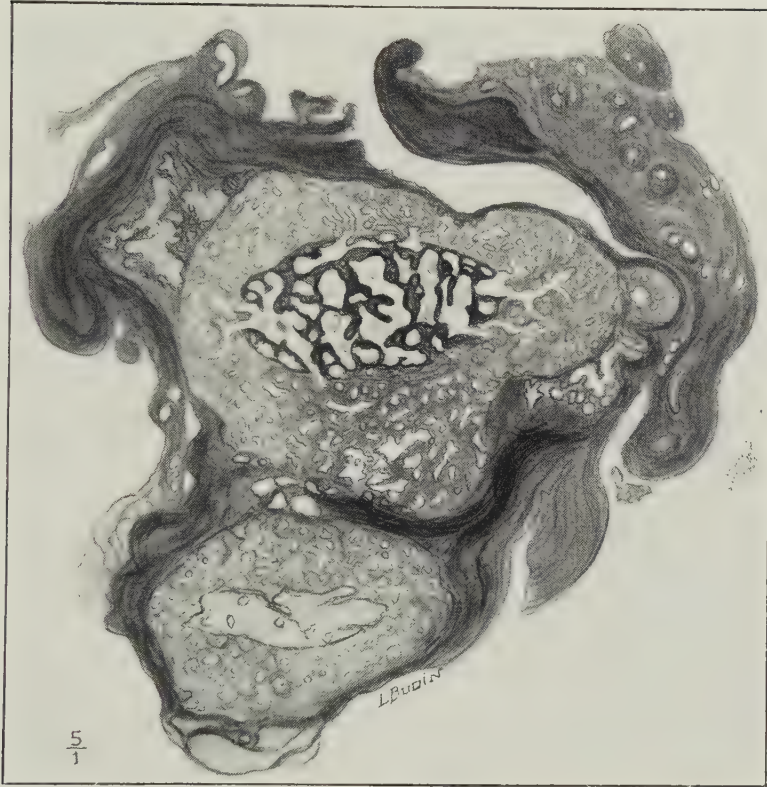


Fig. 19. — Coupe transversale intéressant le radius et le cubitus. 63 jours après la fracture. On voit sous le périoste incisé la dépression osseuse produite par le corps de l'agrafe.

compacte est d'épaisseur très irrégulière. Sur la face antéro-externe, elle est amincie. A ce niveau on constate très nettement une dépression régulière superficielle qui s'accompagne de dilatation des canaux de Havers avoisinants. C'est la trace laissée par l'agrafe sur la surface osseuse. En avant et en arrière la lame compacte a conservé son épaisseur normale et présente peu de modifications. En dedans, au contraire, la lame compacte disparaît complètement pour laisser place à un tissu

spongieux néoformé de densité moyenne. C'est l'endroit précis qui a été particulièrement traumatisé au cours de l'intervention.

La moelle osseuse est complètement modifiée. On ne retrouve aucun des éléments normaux. Le tissu médullaire est remplacé par un tissu osseux, spongieux, lâche. Dans ce système trabéculaire, on ne trouve pas d'osséine parfaite, mais des lames collagènes infiltrées de calcaire.



Fig. 20. — Coupe transversale passant légèrement plus haut que la précédente et intéressant le puits du crochet de l'agrafe.

Au niveau du cubitus, on constate que les lésions sont strictement localisées à la face externe de l'os, à l'endroit même où l'os fut traumatisé pendant l'opération. En effet, la réaction périostée est absente sur la face interne de l'os ; en se rapprochant du radius, le périoste s'épaissit, atteint 2 à 3 mm et dans l'espace interosseux il semble se continuer avec le périoste du radius. A ce niveau, et à ce niveau seulement, on trouve sous le périoste du tissu réactionnel spongieux néoformé. La lame compacte est normale, sauf au voisinage du radius où elle devient moins

dense. Elle présente là une sensible dilatation des canaux de Havers. Il n'y a pas de réaction médullaire notable du cubitus.

B. — *Coupe transversale* passant par le puits de l'agrafe (fig. 20).

La topographie générale de la coupe est excellente et permet une lecture facile.

Le périoste est épaissi sur toute la circonférence du radius et atteint 5 à 4 mm. Au niveau de l'intervalle interosseux, il saute du radius sur le cubitus. Le périoste présente une réaction embryonnaire considérable. A sa face profonde, au contact de la lame compacte, on constate çà et là des placards irréguliers d'os néoformé. Au-dessus du puits de l'agrafe on voit le périoste déchiqueté.

Le cratère osseux de la lame compacte est nettement élargi. Le trajet du crochet est tapissé d'une épaisse gaine fibreuse qui pénètre dans la cavité médullaire. Sur cette gaine viennent s'implanter de volumineuses cloisons fibroïdes qui vont se fusionner avec les trabécules du tissu adjacent. Toute la lumière médullaire est remplie d'un bourgeon spongieux néoformé qui se prolonge dans la face interne de l'os. A ce niveau la lame compacte a disparu; elle est remplacée par du tissu spongieux.

Ces coupes sont intéressantes. En dehors des notions qu'elles apportent au sujet de la réaction se faisant autour des agrafes du Professeur Cunéo, elles montrent qu'un traumatisme opératoire (c'est-à-dire passager) provoque des lésions importantes et persistantes.

En effet, la face interosseuse du radius fut fortement lésée au cours de l'intervention. A ce niveau, on constate, 65 jours après l'opération, que la lame compacte a complètement disparu et qu'elle est remplacée par du tissu spongieux. Nous verrons ultérieurement les conclusions que l'on peut tirer de ces constatations.

II. *Côté gauche.* — 27 jours après l'intervention; sans fracture (fig. 21).

Les coupes sont défectueuses et ne permettent qu'un examen imparfait. On constate néanmoins sur une coupe passant par le puits du crochet que le périoste est très épaissi. Il présente à sa face profonde une réaction osseuse par placards, n'aboutissant pas à de véritables travées. Ce tissu réactionnel est formé de gaines de substance préosseuse non encore infiltrées de calcaire. La lame compacte offre un aspect presque normal. Il existe une réaction minimale autour du puits du

crochet avec dilatation légère des canaux de Havers. Le cratère osseux est net, bordé d'une mince lame de tissu conjonctif jeune.

La moelle osseuse est fortement fibrosée. Mais elle conserve encore des vésicules graisseuses. Il n'existe que peu de trabécules néoformées.

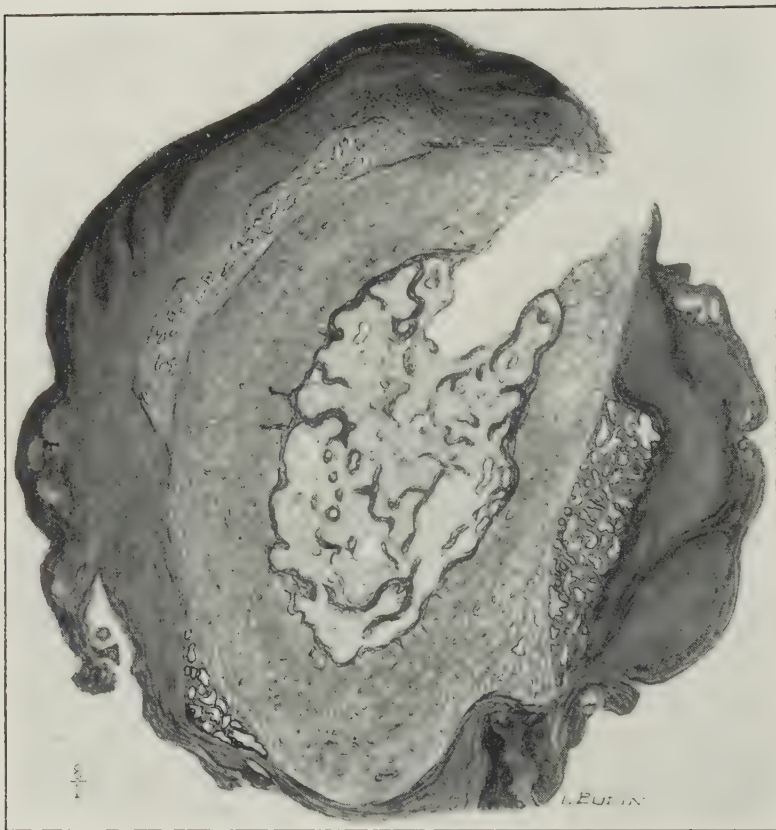


Fig. 21. — Coupe transversale du radius passant par le puits du crochet de l'agrafe.
27 jours après l'intervention. Sans fracture.

Tout autour du trajet intramédullaire du crochet s'est développée une ébauche d'une gangue conjonctive mince, qui ne présente pas encore les réactions tinctoriales du tissu fibreux organisé.

Cette coupe s'oppose aux deux précédentes. Ici il y a peu de lésions : le matériel a été laissé en place moins longtemps, il n'existait pas de mobilité secondaire de l'appareillage prothétique.

Chien n° VIII (16 kg. — un an).

I. — APPLICATION SOUS-PÉRIOSTÉE SUR LE RADIUS DROIT D'UNE PLAQUE D'HALLOPEAU FIXÉE PAR DEUX LAMES DE PARHAM; SANS FRACTURE.

II. — FRACTURE EXPÉRIMENTALE DU RADIUS GAUCHE AVEC OSTÉOSYNTHÈSE PAR UNE PLAQUE D'HALLOPEAU ET TROIS LAMES DE PARHAM.

ÉVOLUTION ASEPTIQUE. BONNE TOLÉRANCE.

RÉSULTAT FONCTIONNEL MÉDIOCRE.

CHIEN SACRIFIÉ 62 JOURS APRÈS LA PREMIÈRE INTERVENTION :

28 JOURS APRÈS LA FRACTURE OSTÉOSYNTHÉSÉE.

NON-CONSOLIDATION DE LA FRACTURE.

PREMIÈRE INTERVENTION. — Le 9 mai 1928. Radius droit; sans fracture.

Incision arciforme longue de 8 cm, à distance de la surface radiale. On dépérioste le radius sur toute sa circonférence. Mise en place d'une plaque d'Hallopeau sur la face antéro-interne de l'os. On fixe l'attelle à l'aide de deux lames de Parham fortement serrées. Le matériel est fixe et ne peut être mobilisé. La plaie est fermée en trois plans. Pansement simple par une compresse imbibée de stérésol.

SUITES OPÉRATOIRES. — Simples.

Le matériel est admirablement toléré. La cicatrice cutanée est bonne.

DEUXIÈME INTERVENTION. — Le 12 juin 1928. Radius gauche avec fracture.

Même technique que pour le côté opposé. On réalise à la scie de Gigli une fracture légèrement oblique. Du sérum tiède baigne la plaie. On met en place une attelle d'Hallopeau; elle est fixée par trois lames de Parham. Signalons une erreur de technique : la lame du milieu cache complètement le trait de fracture. Le matériel tient solidement. Macroscopiquement les deux fragments osseux sont parfaitement immobiles.

On ferme la brèche opératoire en trois plans, comme pour le côté opposé. Pansement au stérésol.

SUITES OPÉRATOIRES. — 15 juin 1928. Le chien n'a pas arraché le pansement. La patte n'est pas œdématiée. La plaie est sèche ; la suture cutanée tient.

Le 18 juin : il existe un léger suintement séreux. Le chien n'appuie pas sur la patte fracturée.

Le 22 juin 1928 : cicatrice cutanée parfaite. Le chien reste sur trois pattes.

Radiographie : le 5 juillet 1928.

I. — *Côté gauche* : avec fracture datant de 21 jours.

La plaque, volumineuse, est exactement appliquée à l'os. Les trois lames de Parham sont correctement posées. Le trait de fracture se devine à peine au bord supérieur de la lame du milieu. On constate très peu de réaction osseuse radiologiquement visible. Signalons cependant un début de prolifération périphérique localisée immédiatement au-dessous de la lame inférieure. Pas d'image d'ostéoporose (fig. 22).

II. — *Côté droit* : sans fracture ; 55 jours.

La plaque métallique est fixée sur l'os en position légèrement oblique. Les deux lames épousent étroitement l'os. Sur ce cliché on constate des néoformations osseuses périphériques très nettes. Le profil du radius est irrégulier avec une hypertrophie marquée à l'extrémité inférieure de la plaque. A ce niveau existe d'ailleurs sur la diaphyse un léger degré d'ostéoporose (fig. 23).

Chien sacrifié le 10 juillet 1928 par injection intracardiaque de chloroforme.

Constatactions macroscopiques :

I. — *Radius gauche* : avec fracture datant de 28 jours.

La cicatrice cutanée est souple. On trouve un épaississement fibro-cicatriciel dans la couche musculaire. Le périoste cache complètement le matériel de prothèse. Il est épaissi, opaque. Au niveau de la plaque métallique il est décollé, mais il n'y a pas de collection liquide sous-jacente.

On prélève le radius et le cubitus en masse, quoiqu'il n'existe aucune

mobilité apparente. Après fixation dans l'alcool pendant 24 heures, on enlève le matériel prothétique.

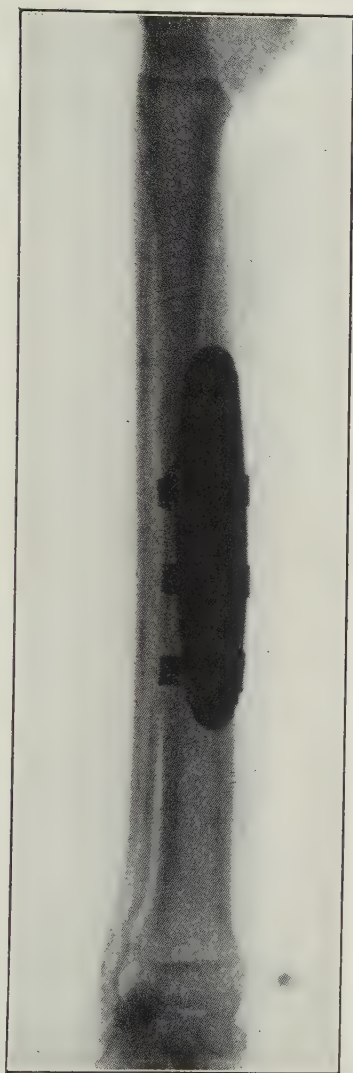


Fig. 22.

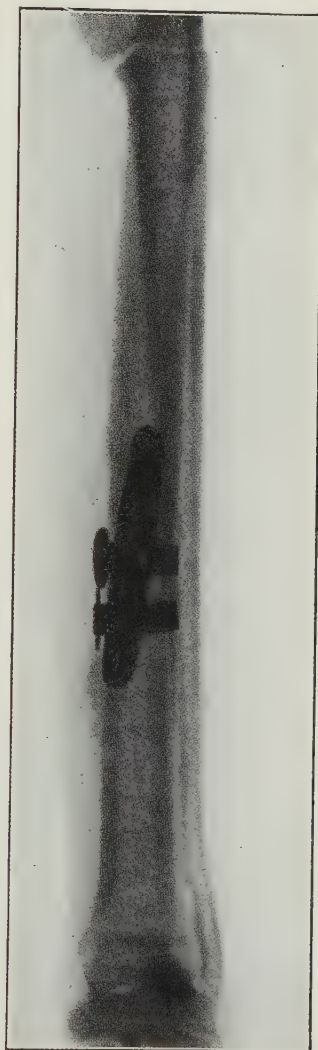


Fig 23.

On incise le périoste sur la plaque, dans toute sa longueur. On constate alors que le matériel est strictement immobile. Après ablation de la plaque et des lames, on se rend compte qu'il n'y a pas trace de consoli-

dation. Les deux fragments sont libres, l'un par rapport à l'autre. On prélève deux fragments : voir le schéma ci-contre. Le cubitus est laissé accolé au radius pour servir de tuteur aux deux fragments. Signa-

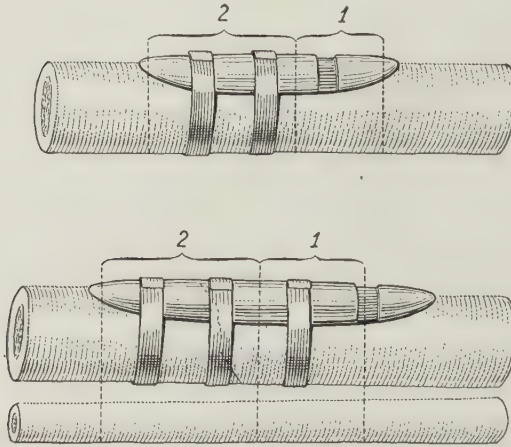


Fig. 24. — Schéma de l'intervention et des coupes pratiquées.

En haut : radius droit; 62 jours; sans fracture.
En bas : radius gauche; 20 jours; avec fracture.

lons que macroscopiquement il n'y avait pas de lésions apparentes de la moelle osseuse sur les différentes tranches de section des fragments.

II. — *Radius droit* : 62 jours après l'intervention ; sans fracture.

La cicatrice cutanée est souple et mobile. Il existe une couche fibreuse cicatricielle dans les muscles. Le périoste est reconstitué, transparent. Après incision du périoste, on se rend compte que le matériel ne

présente pas de mobilité. Les lames sont fortement assujetties. Le lit de la plaque est marqué par un dépôt brunâtre. Mais la plaque ne semble pas avoir produit une dépression de la lame compacte. Il n'y a pas de séquestre superficiel macroscopiquement visible. Après fixation pendant 24 heures dans l'alcool on prélève deux fragments. Voir le schéma. Les tranches de section médullaires n'offrent rien d'anormal.

Constatations microscopiques :

I. — *Radius gauche*, avec fracture datant de 20 jours.

Coupe transversale (fig. 25) passant par le lit de la lame centrale, au niveau du foyer de fracture.

On constate une épaisse gangue périostée. Peu de réaction embryonnaire dans le périoste. La lame périostée est décollée de l'os compact : ceci s'explique par le fait que la coupe passe par le lit d'une lame de

Parham. Fait remarquable, il n'y a aucune production osseuse sous-périostée.

Le radius est transformé dans sa totalité en un bloc de tissu spon-



Fig. 25. — Radius gauche, avec fracture datant de 20 jours. La coupe passe par le lit de la lame de Parham qui encerclait le foyer de fracture. La plaque était appliquée sur le radius à l'endroit où le périoste manque.

gieux particulièrement dense dans le centre. A la périphérie, les trabécules forment un système plus lâche. Les travées osseuses correspondant au foyer de fracture montrent une atypie extrême.

Enfin, il faut signaler une très vive réaction inflammatoire qui est surtout marquée dans l'espace interosseux.

Quant au cubitus, il n'y a rien de particulier à signaler. La moelle osseuse est au repos ; la lame compacte d'aspect normal. Le périoste est épaissi vers la cloison inter-osseuse. A ce niveau il existe une néoformation trabéculaire sous-périostée. Cette réaction traduit un traumatisme opératoire.

II. — *Radius droit* : 62 jours, sans fracture.

Coupe transversale : passant par le lit d'une lame de Parham (fig 26).

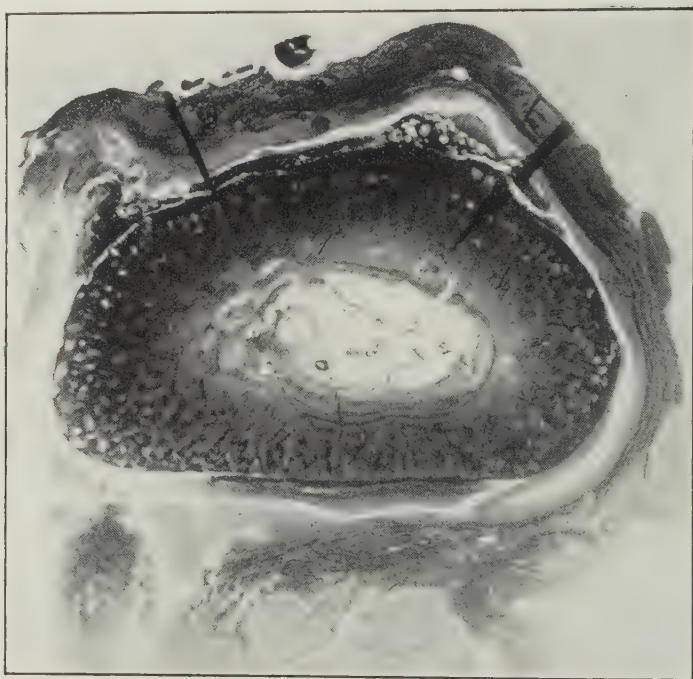


Fig. 26. — *Radius droit* ; 62 jours ; sans fracture. La coupe passe par le lit d'une lame de Parham. La plaque se trouvait sur la partie gauche du radius à l'endroit où le périoste manque.

Le périoste est fortement épaissi, en réaction inflammatoire très nette. On ne constate pas de réaction osseuse sous-périostée.

La lame compacte montre des lésions évidentes sur toute sa circonférence, les canaux de Havers sont dilatés. Il existe une résorption marquée de la substance osseuse. Ces lésions sont particulièrement nettes dans les couches superficielles de la lame compacte ; elles diminuent en progressant vers la profondeur.

La moelle osseuse n'offre qu'un minimum d'altération. Toute la partie centrale du canal médullaire est occupée par une moelle normale bourrée de vésicules graisseuses. Seul, dans la couche médullaire excentrique, semble exister un certain degré de sclérose.

En résumé, on constate des lésions évidentes portant surtout sur la lame compacte, et localisées dans la partie périphérique de cette lame. La moelle est au repos. Cette image s'oppose complètement à celle fournie par le radius fracturé. Pour ce dernier les lésions les plus marquées étaient intramédullaires.

Chien n° IX. (19 kgs. — deux ans.)

FRACTURE EXPÉRIMENTALE DU FÉMUR.

OSTÉOSYNTHÈSE RÉALISÉE PAR UN MANCHON DE CONTREMOLINS.

RÉDUCTION PARFAITE DE LA FRACTURE.

SUITES OPÉRATOIRES ASEPTIQUES. RÉSULTAT FONCTIONNEL EXCELLENT.

CHIEN SACRIFIÉ AU 68^e JOUR.

CONSOLIDATION DE LA FRACTURE.

RÉACTION ANATOMO-PATHOLOGIQUE MINIME

INTERVENTION. — Le 12 novembre 1928.

Incision de 10 cm sur la face externe de la cuisse droite. On passe par le vaste externe. Après incision du périoste, on rugine le fémur circulairement sur 8 cm de hauteur et on le libère de toute insertion musculaire. Par quatre trous forés dans la face externe du fémur, on amorce une fracture oblique que l'on complète au ciseau. Le trait de fracture est irrégulier. On réduit facilement la fracture. Puis on met en place un manchon de Contremoulins à trois pattes. Serrage correct; le manchon s'adapte parfaitement à l'os. Il s'évase dans sa moitié inférieure à cause du volume plus considérable de l'épiphyse inférieure du fémur. La réduction de la fracture est bonne. Les deux fragments sont strictement immobilisés. Pas d'incident opératoire. L'hémostase est parfaite.

La brèche opératoire est fermée en trois plans. Sur la peau on fixe une simple compresse imbibée de stérésol. Aucune immobilisation.

Suites opératoires. — Excellentes.

Le 16 novembre : bon état. Il n'existe pas d'œdème de la patte, pas de collection profonde à la cuisse. Le chien se tient déjà sur ses quatre pattes.

Le 25 novembre : on enlève le crin cutané. État local parfait. Le chien marche presque normalement et ne boite pour ainsi dire plus.

Le 1^{er} décembre 1928 : la cicatrisation est complète. A l'examen, le fémur opéré est solide, non épaissi, complètement indolore. Le chien peut se dresser sur les deux pattes de derrière et rien ne décele la récente fracture du fémur.

Radiographie — 65 jours après la fracture (fig. 27).

On voit le manchon évasé vers le bas par l'épiphyse inférieure du fémur. Le trait de fracture est caché par le manchon et complètement invisible. A travers les orifices ménagés dans le manchon, on ne constate pas de décalcification du fémur sous le manchon. Par contre, il existe une certaine opacité radiographique aux bords supérieur et inférieur du manchon. On constate le début d'un cal périphérique qui tend à recouvrir le manchon. Ce cal est encore peu ossifié au 65^e jour de l'intervention. La radiographie montre qu'il existe une réaction osseuse sous-périostée qui dépasse largement les limites supérieures et inférieures du manchon. En particulier, au-dessus du bord supérieur du matériel de Contremoulins, cet épaissement sous-périosté s'étend à plus de 4 centimètres.

Chien sacrifié le 19 janvier 1929, 68 jours après l'intervention.

Constatations macroscopiques.

La cicatrisation musculaire est parfaite. Les muscles ont repris leur insertion normale. Ils tiennent solidement au périoste, exactement comme s'il n'y avait pas de manchon interposé entre le périoste et l'os. Nous reproduisons (fig. 28) l'aspect macroscopique du fémur entouré de ses insertions musculaires.



Fig. 27.

Le périoste est reconstitué sur toute la circonférence du fémur. Il est

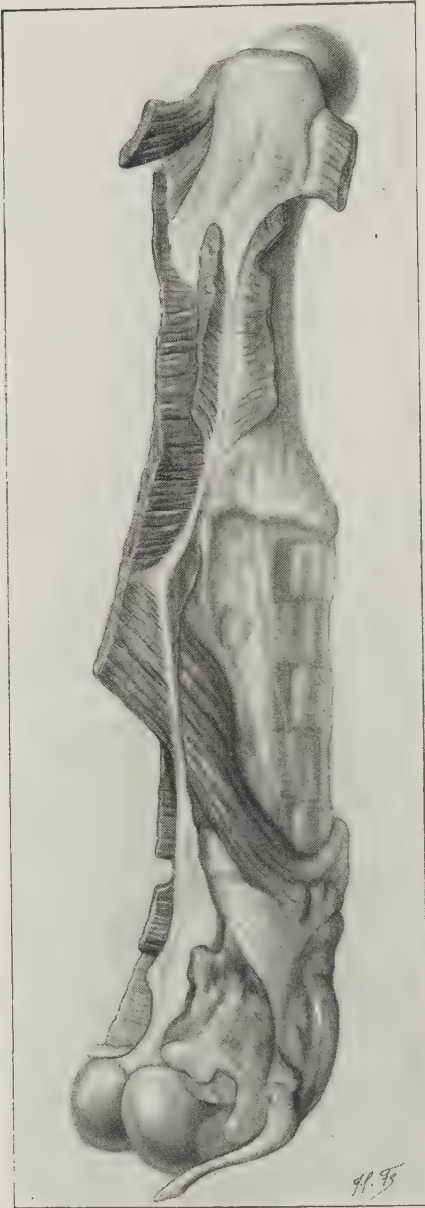


Fig. 28. — Aspect du fémur, 68 jours après une fracture expérimentale ostéosynthésée par un manchon métallique. Les muscles ont repris leurs insertions normales. Le périoste recouvre le matériel. Une ébauche de cal périphérique tend à recouvrir le manchon.

épaissi, mais le matériel de synthèse est néanmoins visible par transparence. Le fémur est nettement épaissi au-dessus et au-dessous des limites du manchon. On constate une néoformation ostéofibreuse qui engaine les bords supérieur et inférieur du manchon. C'est l'amorce du cal périphérique nettement visible sur la radio.

Après avoir incisé le périoste sur toute la longueur de la plaque métallique, on constate qu'il adhère peu au manchon. Par contre, au niveau des orifices ménagés dans le manchon, existent des trousseaux fibreux qui fixent le périoste très solidement à l'os. Pour pouvoir enlever la gaine périostique, il faut sectionner au bistouri chacune de ces attaches fibreuses. Le périoste se fusionne avec l'ébauche de cal périphérique qui englobe les bords supérieur et inférieur du manchon.

Après excision du périoste, le matériel métallique apparaît sans modification aucune. Il n'y a pas de dépôt métallique, ni d'infiltration de produits d'oxydation dans les tissus. Le manchon est soli-

dement fixé sur l'os et ne présente pas la moindre mobilité. Pour enlever le matériel, on défait les trois pattes de serrage et on pratique son

extraction en ménageant le cal périphérique qui le recouvre partiellement. On constate alors que le fémur est recouvert sur toute la hauteur de la prothèse par une membrane fibreuse rosée. Cette lame de revêtement tient solidement à l'os. Les trousseaux fibreux émanant du périoste semblent faire corps avec elle. A certains endroits cette couche fibreuse est plus épaisse, en particulier dans les espaces ménagés entre les trois pattes de serrage, dans la zone située entre les deux bords latéraux du manchon (fig. 29).

La fracture est parfaitement consolidée. L'os semble aussi résistant qu'un os normal. Il est remarquable qu'à l'examen on ne voit pas trace du trait de fracture. Par contre, la radiographie faite après l'ablation du manchon montre admirablement le trait de fracture. Cette radiographie que nous reproduisons (fig. 50) est encore intéressante en ceci qu'elle prouve indiscutablement qu'il n'y a pas de résorption osseuse au-dessous du manchon. Elle montre de plus qu'il existe un apport calcique local au niveau des bords inférieur et surtout supérieur du manchon. D'après ce cliché, les épiphyses du fémur semblent légèrement décalcifiées. Nous croyons volontiers qu'il s'est fait à ce niveau une « mutation locale » (Leriche et Policard) des sels de chaux des épiphyses vers le foyer de fracture.

Après avoir fixé la pièce pendant 24 heures dans l'alcool, on prélève plusieurs fragments que nous indiquons schématiquement sur la radiographie que nous reproduisons. (fig. 51).



Fig. 29. — Aspect du fémur après excision du périoste et ablation du manchon. On voit aux bords supérieur et inférieur du manchon l'ébauche d'un cal périphérique. De plus on distingue la lame conjonctive néoformée, faisant saillie entre les pattes de serrage.

La coupe *a* passe par une moëlle osseuse d'un gris rosé d'aspect normal.



Fig. 50. — Radiographie du fémur face et profil, après ablation du manchon.
On voit le trait de fracture. Remarquer les becs ossifiés du cal périphérique.



Fig. 51

A niveau de la coupe *b*, passant à l'extrémité supérieure du manchon, la

moelle est uniformément grisâtre et compacte. La section du cal périphérique montre une tranche très vasculaire.

Le fragment *c* comporte le trait de fracture qui est bien visible. La moelle est à ce niveau d'un gris rosé rappelant la coloration normale.

Les trois derniers fragments *d*, *e*, *f* furent sectionnés longitudinale-

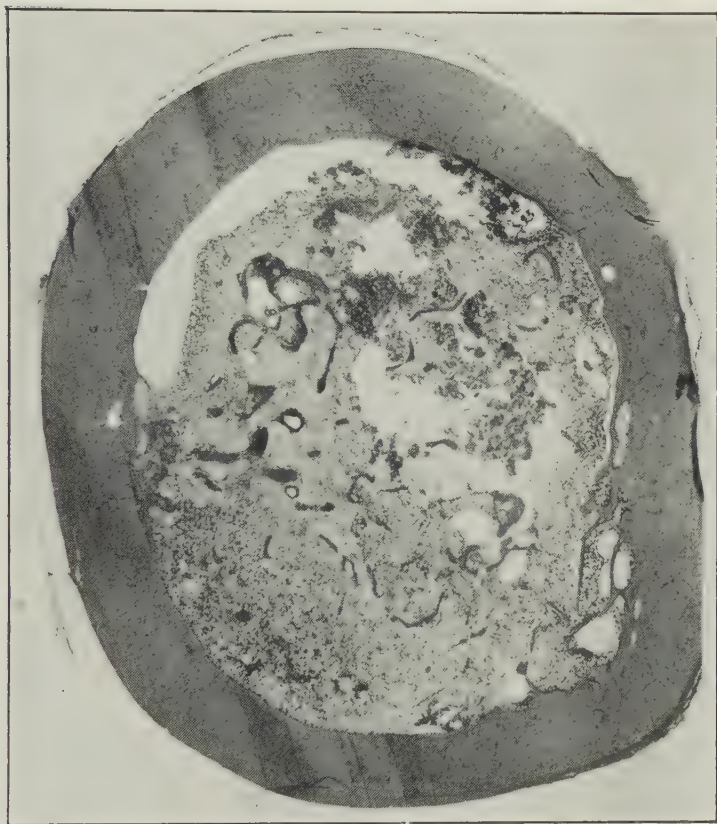


Fig. 52. — Coupe transversale passant à 4 centimètres au-dessus du bord supérieur du manchon. Moelle saine. Lame compacte normale.

ment. Ces différentes coupes permettent de constater que la moelle a gardé dans son ensemble une coloration normale, à l'exception de la partie située à la limite supérieure du manchon. A cet endroit, la moelle osseuse est grisâtre et compacte.

Constatations microscopiques.

I. *Coupe transversale* passant par le fragment *a* en tissu sain. (fig. 52).

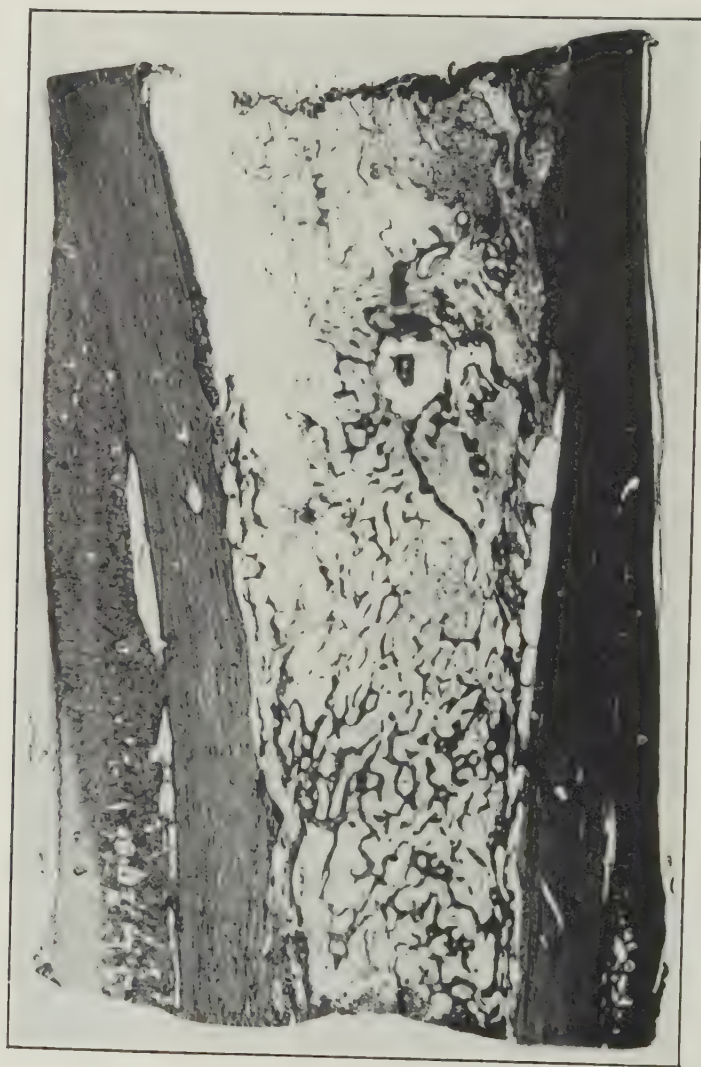


Fig. 53. — Coupe longitudinale. Elle montre la réaction sous-périostée qui augmente progressivement en se rapprochant du bord supérieur du manchon.

La lame compacte est d'épaisseur normale. La moelle osseuse est sans réaction cellulaire. Elle présente néanmoins une légère congestion.

II. *Section longitudinale du fragment f.* — On constate une réaction osseuse sous-périostée s'atténuant en fuseau vers l'extrémité supérieure de la coupe.

La lame compacte est normale. Le système trabéculaire de la moelle

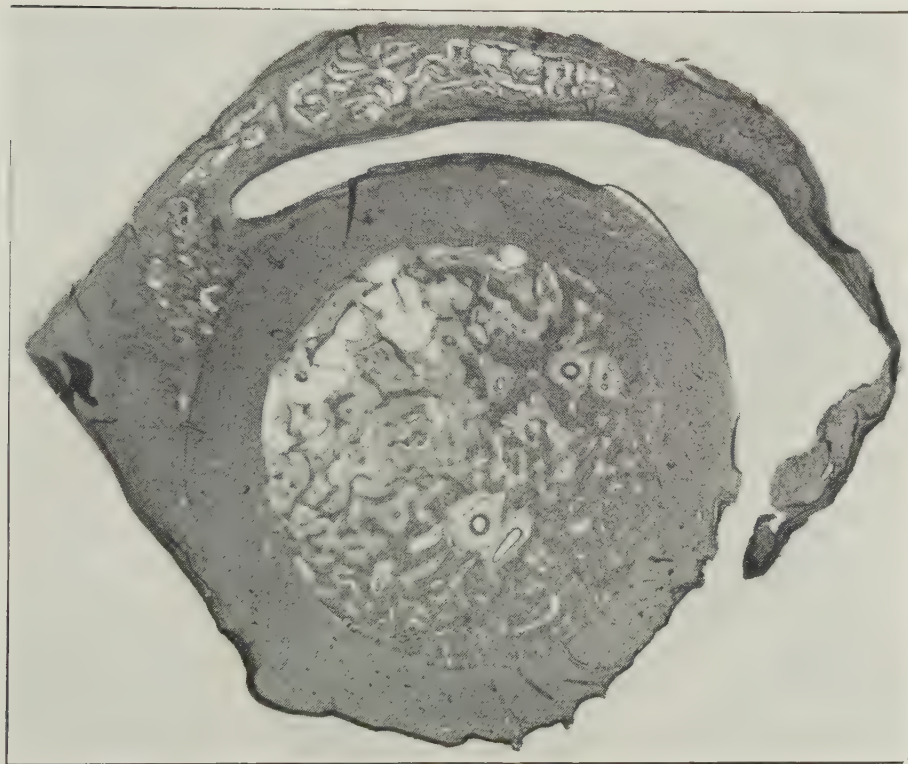


Fig. 54. — Coupe transversale montrant le cal périphérique et son point d'implantation sur la compacte. Le point de réflexion correspond à l'endroit où se trouvait le bord latéral du manchon.

commence à se densifier légèrement. La moelle osseuse présente des zones de sclérose, mais on ne note aucune réaction cellulaire et on constate même la présence persistante de vésicules graisseuses en quantité notable (fig. 55).

III. *Coupe transversale* passant par le fragment *b* au niveau du bord supérieur du manchon et du bourgeonnement périostique. Étant

donnée l'obliquité du bord supérieur du manchon, on aperçoit le bourrelet ostéo-périostique qui vient se rattacher au corps de l'os. Il existe en outre, immédiatement contre la surface extérieure de la compacte, un manchon de tissu cellulaire absolument analogue à un périoste normal. Il s'agit là d'un tissu de néoformation, étant donné que le manchon a été placé sur un os dépériosté dans toute sa circonférence. Au niveau

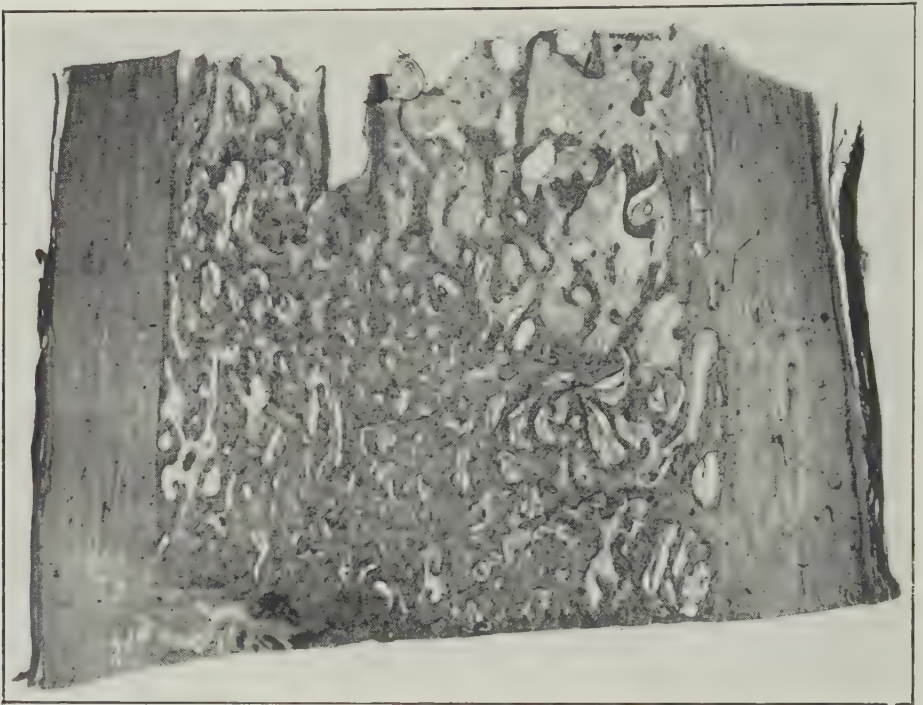


Fig. 55. — Coupe longitudinale. Dans la partie inférieure de la coupe, on se rapproche du foyer de fracture.

de la zone de réunion du bourrelet ostéo-périostique et du périoste, on aperçoit d'une part des zones d'ossification à type lamelleux, d'autre part, du tissu fibro-cartilagineux non ossifié.

La lame compacte présente un très léger degré d'élargissement des canaux de Havers. La moelle osseuse est fibrosée et presque entièrement oblitérée par des masses de tissus spongieux. Il est remarquable d'observer que la densification de la médullaire est maxima dans le secteur opposé à celui sur lequel s'implante le bourrelet ostéo-périosté, c'est-à-dire au niveau où l'os est le plus pleinement en contact avec le manchon (fig. 54).

IV. *Fragment e.* — Coupe longitudinale de la zone incluse sous le manchon au-dessus du foyer de fracture (fig. 55).

On observe des altérations qui affectent l'os dans toute son épaisseur, mais asymétriques d'un côté par rapport à l'autre. A la périphérie : du périoste néoformé; au niveau de la compacte : un élargissement notable des canaux de Havers, d'un côté; alors que l'autre reste dense et subit

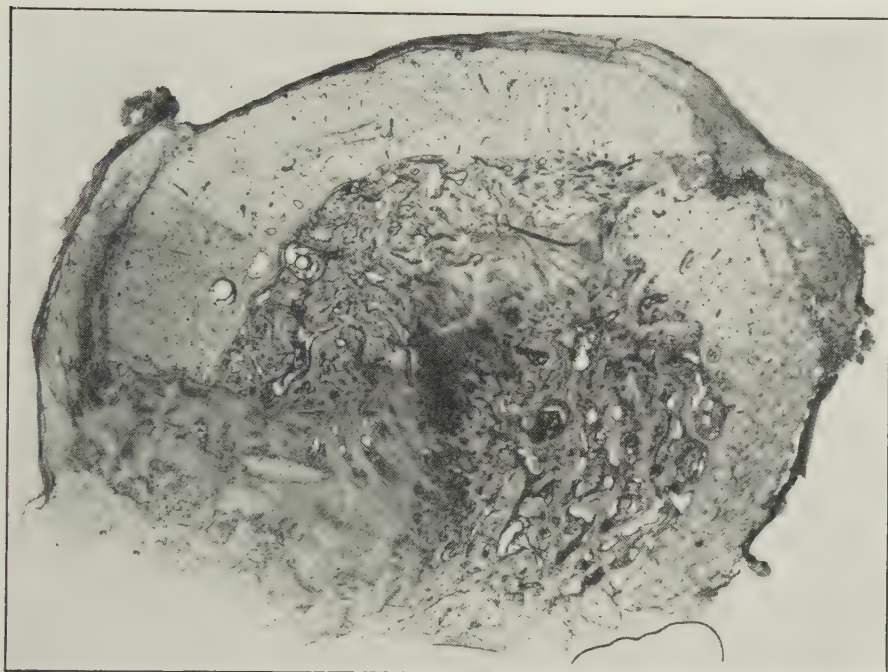


Fig. 36. — Coupe transversale passant par le foyer de fracture. 68 jours après l'intervention la fracture est absolument consolidée.

une réaction très faible. Quant à la moelle elle est transformée en un tissu osseux spongieux dont la densité est irrégulière.

V. *Fragment c.* — Coupe transversale en plein foyer de fracture. Il est difficile de décrire une topographie exacte des lésions osseuses à ce niveau. On constate nettement en un point que la compacte est interrompue et présente une solution de continuité remplie de tissu fibreux et cartilagineux. Ce tissu se continue profondément à l'intérieur du tissu médullaire par des masses fibreuses irrégulièrement disposées, infiltrées de part et d'autre de tissu ostéoïde (fig. 56).

VI. *Fragment d.* — Coupe longitudinale affectant la partie inférieure de l'engainement et débordant en bas le bord correspondant du manchon.

La lame compacte est légèrement raréfiée aussi bien dans sa zone



Fig 37. — Coupe longitudinale allant du foyer de fracture au bord inférieur du manchon. Sur le côté gauche de la figure on voit bien le cal périphérique entourant le bord inférieur du manchon.

superficielle que dans la profondeur. La moelle osseuse est infiltrée par des trabécules irrégulièrement disposées, se continuant par des zones de sclérose infiltrées çà et là de cellules ostéoides.

Il semble que la coupe intéresse encore le foyer de fracture, l'aspect

constaté ici rappelant étrangement celui que l'on avait observé dans la coupe précédente.

Quant au périoste, on constate un manchon de néoformation par lequel se fait la réflexion du bourgeon ostéo-cartilagineux : image absolument superposable à celle observée sur la coupe du fragment *e* (fig. 54).

En résumé, concordant avec un résultat fonctionnel parfait, on constate un minimum de lésions. Il existe une réaction sous-périostée très forte à distance du matériel. Ces néoformations édifient un cal périphérique qui englobe les bords du manchon. Sous le matériel de prothèse la compacte est peu atteinte et la moelle osseuse est en repos avec de très légères formations réactionnelles à type spongieux.

Ainsi malgré l'énorme surface osseuse qui a été dépériostée et ultérieurement recouverte du manchon métallique on observe que les phénomènes biologiques de régénération suivent un cours absolument normal. Ces faits semblent corroborer les vues de M. Contremoulins ; celui-ci considère en effet que l'étendue du point d'application du matériel d'ostéosynthèse joue un rôle capital.

Plus le point d'application est large, plus l'immobilisation des fragments devient absolue. Or réaliser l'immobilisation parfaite des fragments doit être le souci essentiel du chirurgien qui fait une ostéosynthèse.

C'est ainsi que M. Contremoulins arrive à la déduction logique que le procédé à plus large étendue d'application serait également celui qui est biologiquement le plus satisfaisant. Un manchon bien assujetti donne une immobilité absolue des fragments tout en exerçant, par unité de surface, une pression peu considérable.

Chien n° X. (24 kg. — 5 ans.)

FRACTURE EXPÉRIMENTALE DU FÉMUR DROIT.

OSTÉOSYNTHÈSE PAR UN MANCHON DE CONTREMOULINS.

RÉDUCTION DÉFECTUEUSE AVEC CHEVAUCHEMENT DES FRAGMENTS,
LE MANCHON S'APPLIQUE MAL SUR L'OS.

ÉVOLUTION ASEPTIQUE. BONNE TOLÉRANCE.

CHIEN SACRIFIÉ LE 42^e JOUR.LA FRACTURE N'EST PAS CONSOLIDÉE, LES FRAGMENTS PRÉSENTENT
UNE LÉGÈRE MOBILITÉ A L'INTÉRIEUR DU MANCHON.

RÉACTION HISTOLOGIQUE TRÈS MARQUÉE.

INTERVENTION. — Le 8 novembre 1928. Fracture expérimentale du fémur avec ostéosynthèse par manchon de Contremoulins.

Même technique opératoire que pour le chien précédent. Incision de 12 cm sur la face externe de la cuisse droite. On traverse le vaste externe et on met à nu le fémur. Après incision longitudinale du périoste, on rugine le fémur circulairement sur une hauteur de 8 cm environ. Avec le perforateur on perce dans le tiers moyen du fémur plusieurs trous placés obliquement. On amorce ainsi une fracture que l'on complète au ciseau. La fracture est irrégulière, esquilleuse. Les deux fragments, très mobiles, chevauchent considérablement. On prépare les deux extrémités osseuses en ruginant de chaque côté la crête âpre sur 4 cm.

Puis, on met en place un manchon de Contremoulins à trois pattes. Serrage correct. La réduction de la fracture est mauvaise. Les fragments chevauchent légèrement. Et pourtant l'axe du fémur est bien conservé. De plus, il n'existe pas la moindre mobilité des deux fragments. Même en développant une force considérable, on ne peut mobiliser un fragment sur l'autre.

On ferme la plaie par trois plans : points séparés sur le vaste externe ; surjet aponévrotique ; surjet au crin sur la peau. Le pansement est réa-

lisé par une simple compresse imbibée de stérésol, fixée par quatre crins. On n'applique aucun appareil d'immobilisation.

Nous devons signaler une difficulté opératoire. Au cours de l'intervention, nous n'avions pas d'appareil à extension à notre disposition. De ce fait, nous ne pouvions réduire la fracture et surtout maintenir la réduction que difficilement. Néanmoins, en serrant progressivement le manchon, le redressement du fémur s'est fait pour ainsi dire spontanément. Le fémur reprend son axe, bien qu'il persiste un léger chevauchement des fragments. Mais le manchon s'applique mal. Il n'épouse chaque fragment que sur une demi-circonférence, laissant un léger intervalle libre entre l'os et le manchon sur l'autre demi-circonférence.

SUITES OPÉRATOIRES. — Le 12 novembre 1928. La patte du chien est fortement œdématiée; il n'y a pas de suintement séreux.

Le 16 novembre 1928. L'œdème de la patte a diminué. Il existe à la cuisse une collection profonde, qui donne lieu à un écoulement séro-hématique abondant. Le chien lèche la fistule et l'infection semble inévitable. Le chien se tient sur trois pattes et ne s'appuie pas sur le membre opéré.

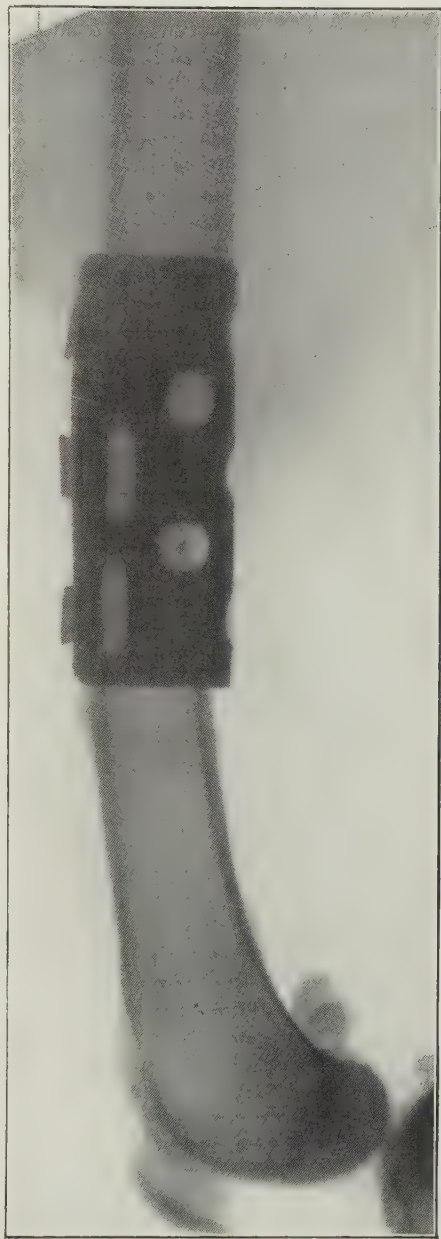


Fig. 58.

Le 25 novembre 1928. La collection séro-hématique s'est vidée. La fistule est cicatrisée. Il n'y a pas eu d'infection. L'œdème de la patte a complètement disparu. Le chien se tient à présent sur ses quatre pattes, mais en marchant il boite légèrement du membre opéré.

Le 3 décembre 1928. État local parfait. L'exploration montre que le fémur, légèrement hypertrophié, est indolore et solide. Le chien court aisément et rien ne traduit la récente fracture du fémur.

Radiographie. — Le 16 décembre 1928. 58 jours après l'intervention.

La radiographie que nous reproduisons (fig. 58) montre quelques points intéressants : l'axe du fémur est bien conservé. Le manchon s'applique mal à cause du chevauchement des fragments, de telle façon que chacun des fragments n'est maintenu que sur une demi-circonférence. Le trait de fracture est caché par la gaine métallique. On voit un début d'ossification du cal périphérique. La radio ne permet pas de préciser s'il y a résorption osseuse au niveau des bords supérieur et inférieur du manchon.

Chien sacrifié le 19 décembre 1928. 41 jours après l'intervention.

Constatations macroscopiques.

La cicatrisation cutanée est parfaite. Les muscles sont reconstitués. Ils ont repris leurs insertions sur le fémur. Il n'est plus possible de retrouver la zone qui avait été ruginée. Le périoste s'est reformé et entoure complètement le manchon. Dans son ensemble il est épaissi. A un endroit, situé près de la crête âpre et correspondant au foyer de fracture, existe une collection séro-hématique du volume d'une cerise, située sous le périoste décollé. A ce niveau, le périoste très épaissi a une consistance fibro-cartilagineuse.

On incise le périoste sur toute la longueur du manchon. Le périoste adhère peu à la lame métallique, mais, à travers les orifices du manchon, passent d'épais trousseaux fibreux qui fixent le périoste directement à l'os. Aux deux extrémités du manchon, le périoste épaissi vient se fusionner avec une néoformation ostéo-fibreuse qui recouvre partiellement les deux bords du manchon. Le fémur est nettement augmenté de volume au-dessus et au-dessous du manchon. C'est l'ébauche d'un cal périphérique qui tend à recouvrir les extrémités du manchon.

Avant d'enlever l'appareillage métallique, on recherche la mobilité des fragments. Le fémur est solide et semble d'un seul tenant. Mais, en effectuant des mouvements de torsion des deux extrémités de l'os, on

constate que la consolidation n'est qu'apparente. Les deux fragments se mobilisent légèrement l'un sur l'autre. C'est donc le manchon métallique qui à lui seul maintenant le fémur suffisamment pour permettre au chien de se tenir à quatre pattes et de courir.

Après ablation du manchon, on constate que le fémur est recouvert au-dessous de l'appareillage métallique d'une lame fibreuse rosée qui ressemble à du périoste. Nous retrouvons ce fait constaté déjà sur le chien précédent. Remarquons que cette lame néoformée est particulièrement épaisse aux endroits où le manchon s'applique mal à l'os. Elle emplit pour ainsi dire tous les espaces libres situés entre l'os et le manchon.

La fracture n'est pas consolidée. Entre les deux fragments mobiles existe un tissu gélatinoïde, rappelant le tissu médullaire par sa couleur et sa consistance. Pour ne pas détruire l'image histologique on laisse les deux fragments au contact. On prélève plusieurs pièces.

I. — Fragment du périoste, pris au niveau de la collection séro-hématique.

II. — Trois fragments osseux comprenant, l'un le foyer de fracture, les deux autres la partie de la diaphyse correspondant aux bords supérieur et inférieur du manchon. Les trois fragments osseux sont coupés transversalement.

Examen microscopique.

I. — *Périoste.*

Pièce prélevée au niveau de la collection séro-hématique dans le périoste épaissi.

Le périoste très hypertrophié est constitué de plusieurs couches. Dans la partie superficielle, au contact de l'insertion des muscles, on trouve une lame cartilagineuse épaisse. Plus profondément existe une couche de tissu osseux de structure spongieuse.

II. — *Fragment inférieur.*

Passant de part et d'autre du bord inférieur du manchon et intéressant le point d'implantation du cal périphérique (fig. 59 et 40).

La lame compacte est bien reconnaissable, mais présente un élargisse-

ment très net des canaux de Havers, aussi bien dans la partie superficielle que dans la partie profonde. Sur sa face superficielle vient s'implanter tout un système de trabécules d'os spongieux édifiées par le périoste. Ces trabécules sont soumises à des phénomènes de résorption modelante et de réédification successive. Une ébauche de moelle osseuse se constate à ce

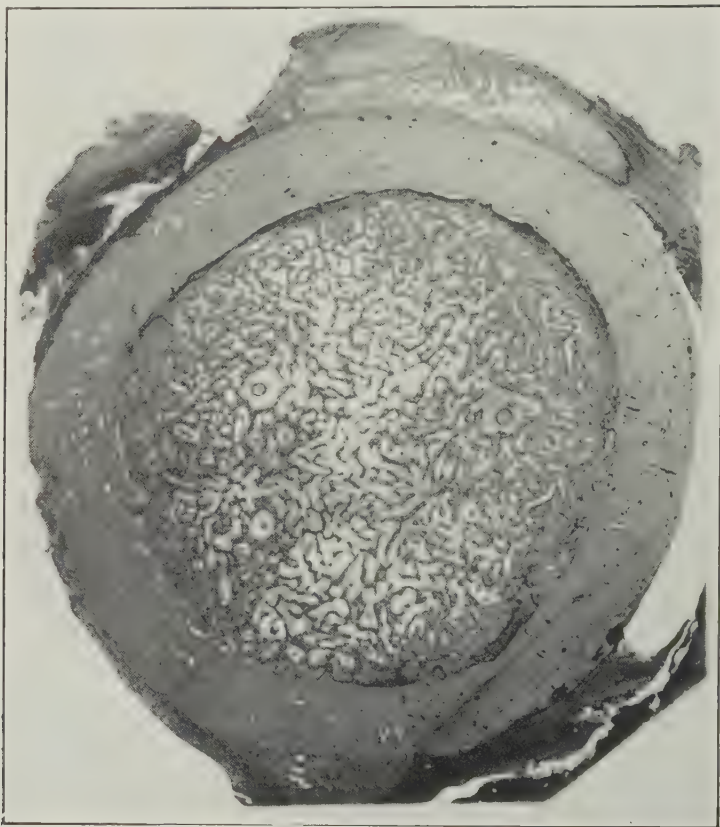


Fig. 59. — Coupe transversale passant un peu au-dessus du bord inférieur du manchon.

niveau. Les myéloblastes sont particulièrement abondants dans la couche superficielle du cal périphérique, au voisinage des lames actives du périoste. En un point, l'ossification est incomplète et laisse place à une épaisse couche de tissu ostéoïde fortement imprégné de sels calcaires. Le maximum de tissu ostéoïde se trouve précisément dans la zone du bourrelet sous-périostique qui, venant s'implanter sur le tissu recouvrant la lame compacte, double le bord libre correspondant du manchon.

Le tissu trabéculaire sous-périosté se continue insensiblement avec les couches plus externes de la lame compacte.

III. — *Fragment passant par l'extrémité supérieure du manchon.*

Cette coupe intéresse la zone de l'os qui est au-dessus de la limite supérieure de l'engainement (fig. 41). Les lésions que l'on trouve sont très semblables à celles que l'on a observées au niveau de l'extrémité

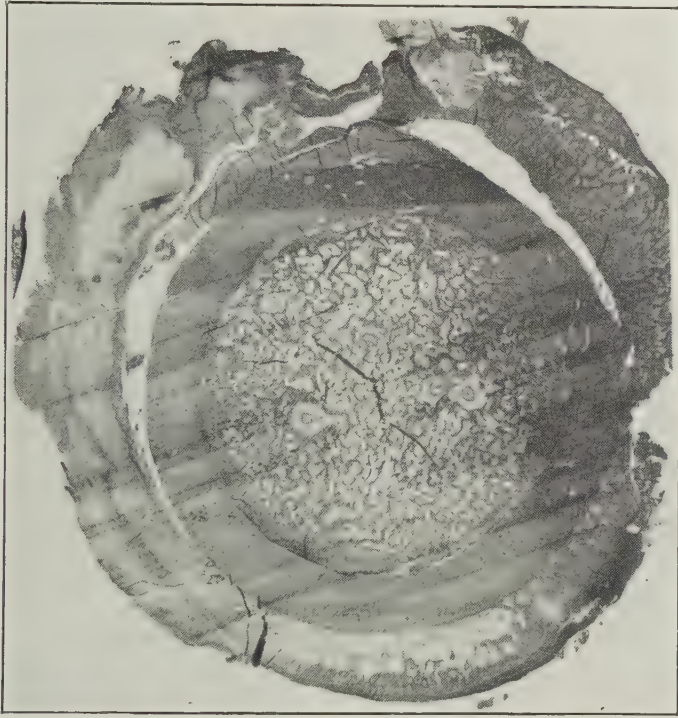


Fig. 40. — Coupe transversale passant au niveau du bord inférieur du manchon.

inférieure du manchon avec cette différence toutefois que les réactions du cal sont beaucoup plus complexes. Il existe une véritable intrication d'éléments polymorphes appartenant soit au type osseux, soit au type cartilagineux, soit encore au type ostéoïde. Le tout est englobé de tissu fibreux diffus, qui se continue d'une part avec le tissu périphérique, d'autre part avec les éléments les plus externes de la lame compacte.

La lame compacte est profondément modifiée et altérée. Il existe une

dilatation généralisée considérable des canaux de Havers telle qu'il est difficile de savoir en quel point la lame compacte se sépare du tissu appartenant au cal.

IV. — *Coupe passant exactement au bord du manchon (fig. 42).*

Le tissu intéressé par cette coupe se trouve au point de transition entre l'os engainé par le manchon et l'os libre recouvert d'un bourgeon-

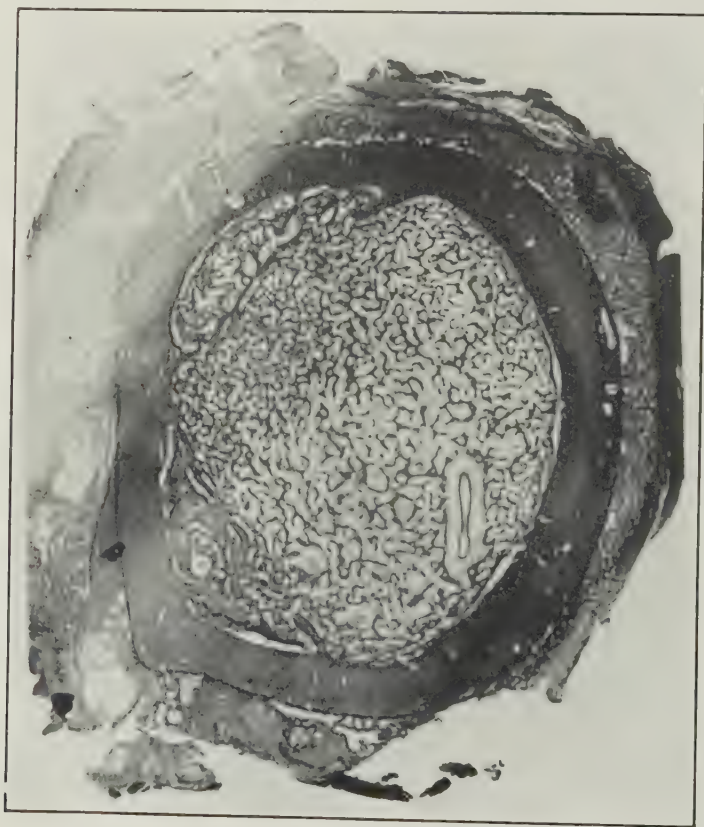


Fig. 41. — Coupe transversale passant au-dessus du bord supérieur du manchon.

nement périphérique intense. Ce qu'on observe, c'est avant tout un élargissement considérable des canaux de Havers qui intéressent la lame compacte au niveau de ses deux zones tant engainées que non engainées. Le bourrelet périphérique présente la même disposition histologique que

nous lui avons trouvée en d'autres points de la préparation : superficiellement un tissu fibreux de type périostique, puis une couche cartilagineuse, enfin une lame spongieuse irrégulière prenant insertion par sa



Fig. 42. — Coupe transversale passant au niveau du bord supérieur du manchon.

profondeur sur la lame compacte décollée à ce niveau par des sillons longitudinaux.

V. — *Coupe passant en plein trait de fracture (fig. 43, 44, 45).*

Des coupes successives et séries passant par le foyer de fracture montrent que les différents éléments osseux trouvés à son niveau,

fragments principaux et esquilles, ne sont en aucun point le siège d'une ossification ou même seulement d'une ébauche d'ossification. Entre les fragments on ne reconnaît ni tissu spongieux, ni formation d'ostéoïde, mais seulement des amas de tissus fibreux, peu denses, de type jeune, en connexion avec le périoste par leur prolongement périphérique. Au

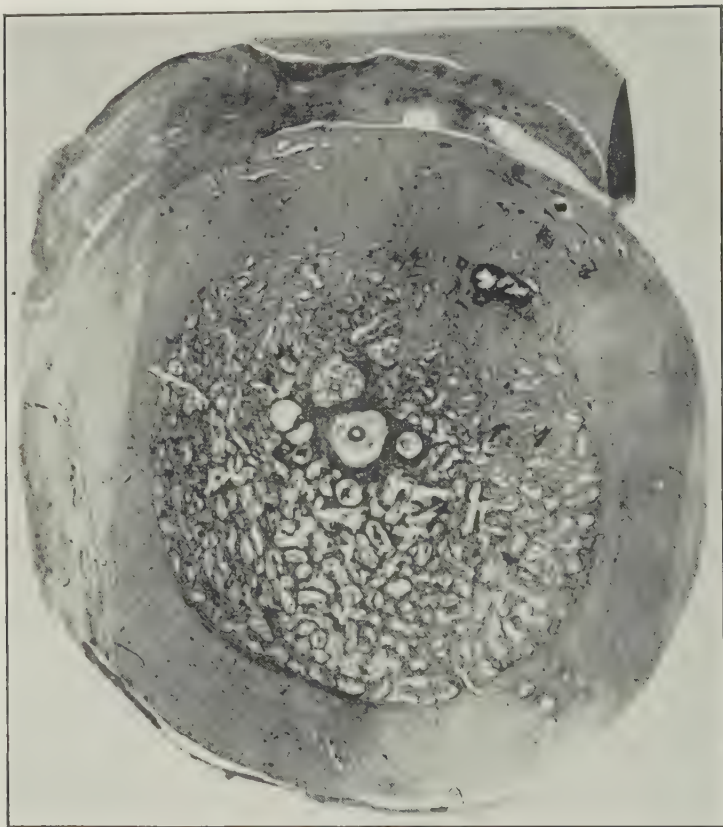


Fig. 43. — Coupe transversale près du foyer de fracture, montrant le chevauchement des fragments.

centre de la préparation on constate du reste également des amas fibreux d'origine médullaire ou haversienne.

Sur toute la surface de la coupe, on aperçoit, très irrégulièrement répartis, des sels calcaires précipités. On en trouve çà et là soit dans le périoste, soit dans la moelle osseuse, donnant l'impression d'une espèce de cristallisation irrégulière. Enfin, au contact de petites esquilles per-

dues au milieu du cal, on constate dans la moelle osseuse avoisinante une vive réaction inflammatoire aux limites de la suppuration.

En résumé, l'examen microscopique décèle des altérations considérables. Le cal périphérique est volumineux et présente, fait particulier,

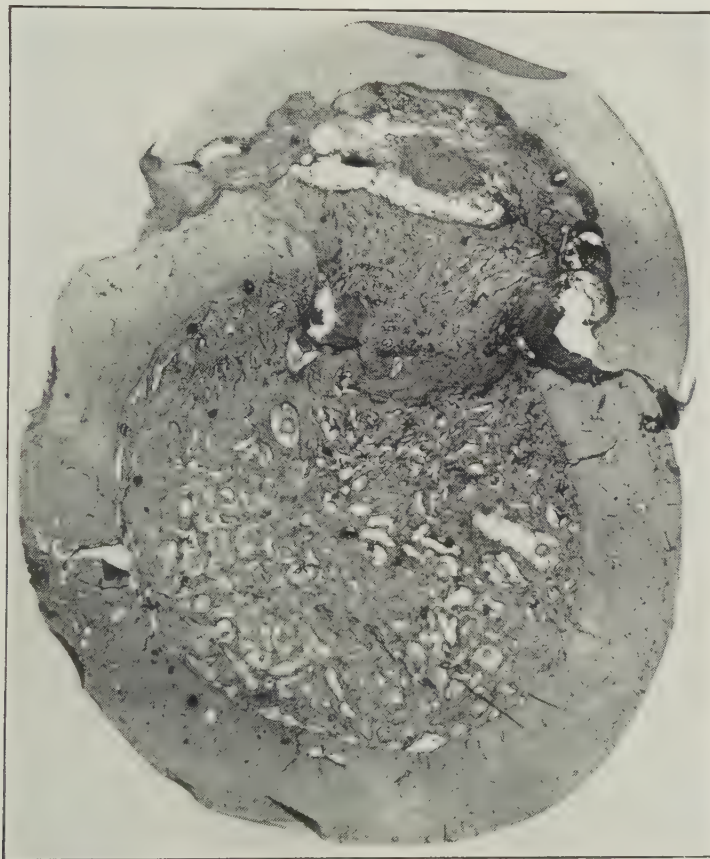


Fig. 44. — Coupe transversale du foyer de fracture. Les deux fragments sont séparés l'un de l'autre par du tissu fibreux.

des plages de tissu cartilagineux et ostéoïde. La lame compacte est fortement modifiée : les canaux de Havers sont dilatés.

A certains endroits la résorption osseuse est telle que la lame compacte prend un aspect spongieux. La moelle osseuse est remplacée dans sa presque totalité par du tissu spongieux néoformé. Tous les éléments

constitutifs de l'os sont en état réactionnel marqué. Or, ces faits coïncident avec une application défectueuse du manchon, la persistance d'une certaine mobilité, la non-consolidation du foyer de fracture.

Remarquons enfin que les lésions histologiques sont particulièrement



Fig. 43. — Coupe transversale du foyer de fracture. Absence de consolidation.

marquées au niveau du bord supérieur du manchon. Il semble que ce soit dans cette région que se produisent, du fait de la non-contention parfaite des fragments, des lésions osseuses dues à un mouvement de cisaille exercé par le bord supérieur de la gaine.

Chien n° 11 (18 kgs — 2 ans).

FRACTURE EXPÉRIMENTALE DU FÉMUR DROIT.

APPLICATION D'UN MANCHON DE CONTREMOULINS QUI A ÉTÉ VOLONTAIREMENT SERRÉ D'UNE FAÇON EXAGÉRÉE. NÉCROSE DE TOUTE LA PARTIE DE LA DIAPHYSE COMPRISE SOUS LE MANCHON.

FRACTURE SPONTANÉE DU FÉMUR APPARUE SECONDAIREMENT
VERS LE 50^e JOUR.

SACRIFICE DU CHIEN LE 67^e JOUR.

ANESTHÉSIE. — Injection de chloralose.

INTERVENTION. — Le 12 novembre 1928.

La technique utilisée est la même que celle qui a été relatée pour les deux chiens précédents. Mise à nu du fémur droit qui est découvert et ruginé au niveau de la ligne âpre sur une hauteur d'environ 10 cm. Une fracture expérimentale oblique est pratiquée au ciseau après perforation de l'os en quatre points. Le trait est oblique en bas et en arrière. Il comporte une esquille postérieure qui se prolonge jusqu'à l'extrémité inférieure de la diaphyse au-dessus des condyles.

On dispose un appareil à extension continue qui tire dans le sens de la longueur de la patte permettant ainsi une réduction facile de la fracture. On applique alors le manchon de Contremoulins dont les trois pattes sont serrées de façon excessive, puis fixées par double accrochage. Les deux fragments sont, après l'intervention, solidement réunis et ne présentent aucune mobilité l'un par rapport à l'autre. La plaie est fermée suivant la méthode habituelle en trois plans : musculaire, aponévrotique, cutané. Pansement simple par une compresse imbibée de stérésol et fixée à la peau par quatre crins. Aucune immobilisation du membre opéré.

SUITES OPÉRATOIRES. — Le 16 novembre 1928. Le chien reste couché sur le flanc et ne se tient que difficilement sur trois pattes. Le membre

opéré est considérablement augmenté de volume depuis la racine jusqu'à l'extrémité. On ne sent aucune collection liquide profonde; la suture cutanée tient bien.

Le 25 novembre 1928. Le chien repose sur ses quatre pattes, mais ne prend pas appui sur le membre opéré. L'œdème antérieurement constaté a complètement disparu. Le surjet cutané est enlevé. Il se fait une désunion de quelques millimètres par laquelle s'écoule un liquide séreux, jaune clair, peu abondant. La collection est vidée par l'expression. La plaie cutanée minime n'est pas recouverte de pansement.

Le 50 novembre 1928. Le chien n'appuie pas encore sur la patte opérée. La fistule donne quelques gouttes d'un liquide purulent, l'examen est difficile et occasionne des réactions vives de la part de l'animal. On arrive cependant à se rendre compte que l'os est très hypertrophié.

Le 10 décembre 1928. Le chien pose à terre la patte opérée, mais à chacun de ses mouvements, lorsque le poids du corps se porte sur le membre, l'animal plonge le train arrière du même côté. Tout se passe comme si la patte opérée ne constituait pas une colonne d'appui d'une résistance suffisante.

Le 5 janvier 1929. A ce moment l'examen de la cuisse est devenu beaucoup plus facile. On constate que l'animal, lorsqu'il marche, prend un point d'appui intermittent sur la patte opérée. Celle-ci semble ployer chaque fois que l'animal s'en sert. L'examen physique montre une déformation angulaire évidente avec raccourcissement par fracture qui s'accompagne d'un déplacement considérable du fragment inférieur. La mobilisation des deux fragments est douloureuse; il n'est pas possible de préciser la date à laquelle s'est produite la fracture spontanée que l'on constate. Son début est resté inaperçu, cela d'autant plus facilement que le membre a présenté pendant longtemps un gonflement qui masquait l'état du fémur et qui s'accompagnait de phénomènes douloureux pour lesquels il était difficile de faire la part revenant à la fracture nouvellement apparue.

Radiographie. — Le 18 janvier, 64 jours après l'intervention.

Le cliché que nous reproduisons, planche 46, montre des délabrements osseux considérables (fig. 46) :

I. — Il existe une angulation presque à 90° entre l'extrémité supérieure du fémur et le manchon en haut, d'une part, la partie sous-jacente du fémur en bas, d'autre part.

II. — Au-dessus et au-dessous du manchon, le fémur est considérablement épaissi sur toute sa périphérie et sur une hauteur considérable.

III. — Au niveau du bord inférieur du manchon, l'épaississement



Fig. 46. — Radiographie faite 61 jours après l'application d'un manchon métallique serré de façon excessive.

fémoral que nous venons de constater pousse un prolongement en forme de butée qui longe le manchon et semble avoir tendance à l'englober.

Par les orifices du manchon, on aperçoit l'os, mais la densité de celui-ci est considérablement diminuée si on la compare avec celle de l'os sus et sous-jacent.

Chien sacrifié le 19 janvier 1929, 67 jours après l'intervention par injection intra-cardiaque de chloroforme.

Après excision des muscles, on conserve le fémur qui reste englobé

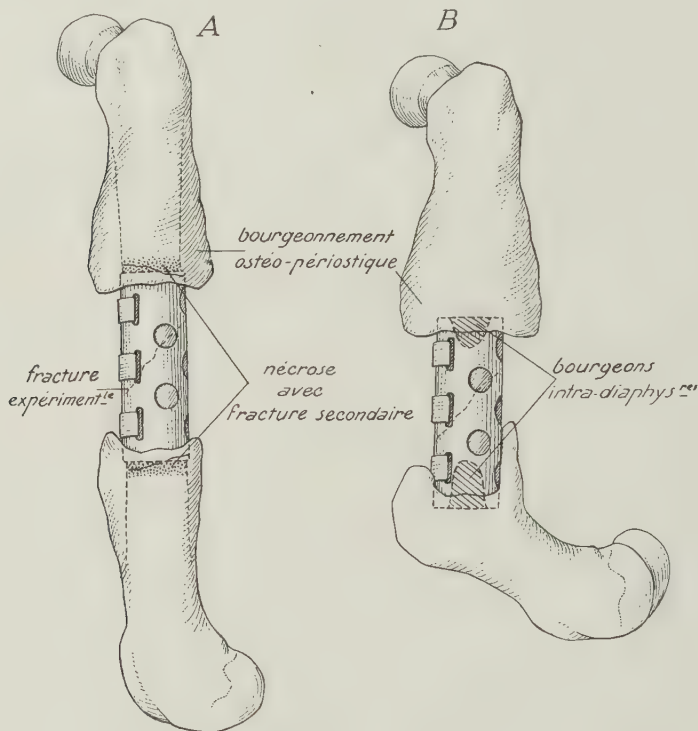


Fig. 47. — Schéma du processus de nécrose suivie de réhabilitation.

En A : nécrose de toute la partie diaphysaire recouverte par le manchon ; réaction sous-périostée au-dessus et au-dessous des bords supérieur et inférieur du manchon.

En B ; fracture secondaire à la limite de la nécrose ; déplacement du fragment inférieur ; augmentation du cal périphérique ; apparition de deux bourgeons intra-diaphysaires.

par une masse fibreuse dans laquelle il est difficile de reconnaître un élément anatomique quelconque et qui semble être solidaire avec les parties extérieures de l'os. L'extrémité inférieure du fémur est complètement mobile. On enlève le périoste avec précaution. Celui-ci est épais, infiltré, lardacé ; par points il est même complètement rigide et sa consistance rappelle celle du cartilage surtout dans la moitié inférieure de la masse qui entoure la fracture (fig. 47).

On constate alors que sous cette masse fibreuse, épaisse et informe, existe une double fracture du fémur siégeant aux bords supérieur et inférieur du manchon. La partie engainée par le manchon est ainsi complètement isolée et aperçue par les orifices supérieur et inférieur de l'appareillage. L'os apparaît blanc, éburné, donnant l'impression d'une nécrose totale de la partie osseuse intéressée.

Après ablation du manchon, on se rend compte qu'il n'y a aucune espèce de consolidation entre les fragments osseux. Ils sont complètement libres l'un sur l'autre; en outre, le canal médullaire est absolument vide à la partie centrale de l'os ainsi séquestré. Mais, un fait intéressant est à noter : à chacune des extrémités de ce tuyau d'os nécrosé pénètre un bourgeon osseux, rougeâtre, résistant, bien vivace, qui émane du segment dia-épiphysaire correspondant. Chacun de ces bourgeons, qui est irrégulier et long d'environ 1 cm, tend ainsi à réhabiter le séquestre. Au niveau de l'union du bourgeon de néoformation et du segment dia-épiphysaire, ce dernier pousse également sur toute la périphérie une formation hypertrophique ostéo-périostique qui revient engainer extérieurement la face externe du manchon dans sa partie adjacente au bord correspondant.

En résumé tout se passe comme si la prothèse métallique d'une part, et l'os séquestré d'autre part, constituaient des corps étrangers inertes, et dans l'ensemble bien supportés. L'os vivant, situé de part et d'autre, tend, par des néoformations à la fois périphériques et profondes, à incorporer ce corps étranger en l'entourant et en le pénétrant.

A la coupe des bourgeons intra-médullaires, on constate qu'ils présentent un revêtement rougeâtre, épais d'un millimètre à peine et que leur masse est constituée par une substance solide, ossifiée à sa partie centrale.

Examen microscopique.

Après décalcification des bourgeons intra-médullaires néoformés, on constate sur une coupe transversale qu'ils sont formés par un système de trabécules osseuses anastomosées. Il existe une précipitation irrégulière de sels calcaires décelables par l'hématéine. Ce système trabéculaire est large au centre de la coupe; par contre, très serré à la périphérie. L'ensemble de ce tissu osseux néoformé est entouré de boyaux fibreux périphériques dans lesquels on constate une réaction embryonnaire assez vive. Cette disposition offre un aspect qui rappelle étrangement celui

d'un os considéré dans sa partie diaphysaire avec ses trois zones : périostique, compacte et médullaire.

En résumé, la striction excessive exercée par un manchon trop serré provoque la nécrose de toute la diaphyse située sous ce matériel. Il est remarquable que ce processus de mortification ait évolué de façon entièrement aseptique et cela malgré le volume considérable de l'appareillage métallique.

TABLEAU SYNOPTIQUE

Afin de permettre une vue d'ensemble des expériences réalisées, nous avons établi un tableau synoptique. Il représente le schéma des expériences et des résultats obtenus.

Nous avons dû limiter nos indications aux renseignements les plus essentiels. Il ne nous a pas été possible de faire figurer dans ce tableau schématique tous les éléments importants de la question.

I. — INTERVENTIONS :							II. - RÉSULTATS
	OS OPÉRÉ	FRACTURE	NATURE DU MATÉRIEL	CONSTITUTION CHIMIQUE DU MATÉRIEL	MODE D'APPLICATION	DURÉE DE L'OBSERVATION EN JOURS	SUITE OPÉRATOIRE
Chien I. 9 k., 5 ans.	Fémur.	0	2 vis. de Sherman.	Acier doux bleuté.	Serrage à bloc sans taraudage approprié.	44	Aseptique
Chien II. 17 kg.	Fémur.	0	Plaque de Lam- botte; 5 vis.	Bimétallique.	Fixation solide; taraudage appro- prié.	24	Aseptique
Chien III. 15 kg., 4 an.	Fémur droit.	0	1 agrafe Cunéo, 2 câbles fixa- teurs; 1 câble à distance.	Bimétallique.	Bien appliqué; serré.	52	Aseptique
	Fémur gauche.	0	id.	id.	id.	12	id.
Chien IV. 12 kg., 4 an.	Fémur gauche.	0	Plaque métalli- que maintenue par 2 lames de Parham.	Acier.	Fixation solide.	70	Aseptique
	Fémur droit.	0	id.	id.	id.	35	id.
Chien V. 19 kg., 2 ans.	Radius.	+	1 lame de Par- ham.	Acier trempé.	Serré; mobilité des fragments.	44	Suppurat.
Chien VI. 15 kg., 2 ans.	Radius.	+	1 plaque de Sher- mann maintenue par 2 lames de Parham.	Acier doux. Acier trempé.	Lames trop ser- rées. Mauvaise contention du matériel.	35	Suppurat.

II. — RÉSULTATS :

FONCTIONNEL	CONSTATATIONS RADIOLOGIQUES	ÉTAT MACROSCOPIQUE	ASPECT MICROSCOPIQUE			FIGURES
			PÉRIOSTE	COMPACTE	MOELLE	
on.	0	Mobilité 2°; réaction aseptique intense(compacte et médullaire).	Edification intense de travées osseuses sous-périostées.	Raréfaction importante au voisinage des vis.	Condensations trabéculaires très étendues.	4-5
on.	0	Pas de mobilité 2°; réaction minime.		Légère raréfaction	Cône réactionnel très limité.	6 et 7
on.	0	Pas de mobilité; moelle en état réactionnel.	Très épais; néoformations trabéculaires sous-périostées.	Résorption autour du crochet.	Réaction intense trabéculaire autour du crochet	11 et 12
on.	id.	Moelle normale; pas de mobilité.	Epaississement; quelques trabécules sous-périostées.	Non modifiée.	Réaction trabéculaire très localisée autour du crochet.	8-10
on.	0	Pas de séquestre superficiel; pas de mobilité.	Peu épais sans formations sous-périostées.	Altération superficielle marquée.	Moelle réactivée sans trabécules osseuses.	14
d.	id.	Normal. Pas de mobilité.	Pas de trabécules sous-périostées.	A peine modifiée.	Presque normale.	
vais.	15° jour; ébauche de cal.	Mobilité 2° du matériel et des fragments; collection suppurée sous-périostique autour du matériel.	Rendu impossible par la suppuration.			15
vais.	Séquestre par compression et fracture, 2°; ostéoporose périphérique.	Cavité suppurative fistulisée entourant un matériel mobile; pas de consolidation; fragment écrasé sous la lame sup ^{re}	id.			16

I. — INTERVENTIONS :							II. - RÉSULTATS
	OS OPÉRÉ	FRACTURE	NATURE DU MATÉRIEL	CONSTITUTION CHIMIQUE DU MATÉRIEL	MODE D'APPLICATION	DURÉE DE L'OBSERVATION EN JOURS	SUITES OPÉRATOIRES
Chien VII. 22 kg., 3 ans.	Radius droit.	+	1 agrafe Cunéo et 2 câbles circulaires.	Bimétallique.	Serré; bonne contention.	65	Aseptique
	Radius gauche.	0	id.	id.	id.	27	id.
Chien VIII. 16 kg., 1 an.	Radius droit.	0	1 plaque d'Hallo- peau fixée par 2 lames de Parham.	Bimétallique.	Serré; bonne contention.	62	Aseptique
	Radius gauche.	+	1 plaque d'Hallo- peau fixée par 5 lames de Parham.	id.	id.	28	id.
Chien IX. 19 kg., 2 ans.	Fémur.	+	Manchons de Contremoulins.	Bronze d'alumi- nium Durville.	Serré modéré- ment; bien appli- qué; bonne contention.	68	Aseptique
Chien X. 24 kg., 3 ans.	Fémur.	+	id.	id.	Réduction in- complète; che- vauchement des fragments; mau- vaise application.	42	Aseptique
Chien XI. 18 kg., 2 ans.	Fémur.	+	id.	id.	Serrage volonta- irement exagéré.	67	Fistulisant

II. — RÉSULTATS :

RÉSULTAT FONCTIONNEL	CONSTATATIONS RADIOLOGIQUES	ÉTAT MACROSCOPIQUE	ASPECT MICROSCOPIQUE			FIGURES
			PÉRIOSTE	COMPACTE	MOELLE	
oyen.	Ebauche de cal avec synostose radiocubitale; ostéoporose nette autour des 2 puits de crochet.	Consolidation incomplète; légère mobilité du matériel.	Réaction spongieuse sous-périostée marquée.	Elargissement du cratère et résorption du tissu osseux.	Réaction trabéculaire très marquée.	48 49 20
Bon.	Aucune modification.	Pas de mobilité du matériel.	Très épaissi.	Résorption osseuse légère autour du crochet.	Moelle fibrosée, sans formation trabéculaire.	17 et 21
Bon.	55 ^e jour; prolifération périphérique avoisinant une très légère ostéoporose.	Matériel fixe.	Epaissi; sans réaction sous-périostée.	Raréfaction superficielle intense.	Moelle au repos, sclérose légère, excentrique.	25 et 26
uvais.	21 ^e jour: fracture cachée par le matériel.	Pas de mobilité du matériel; aucune consolidation osseuse.	Epaissi; pas de trabécules sous-périostées.	Transformation spongieuse de la compacte.	Disparition du tissu médullaire remplacé par des formations trabéculaires.	22 et 25
cellent.	Ebauche de cal périphérique; surcharge calcique aux 2 extrémités du manchon.	Fixité absolue du matériel; fracture consolidée. Bords du manchon engagés.	Périoste épaissi; lame conjonctive néoformée sous le manchon. Trabécules osseuses sous-périostiques	Raréfaction minime.	Très peu de réaction.	27-37
oyen.	Manchon mal appliqué avec intervalle le séparant de l'os.	Non consolidation; mobilité des fragments sous le manchon; kyste sérohématique autour du foyer de fracture.	Périoste épaissi avec formations sous-périostées très marquées.	Raréfaction circonférencielle intense.	Réaction vive à type trabéculaire. Présence de tissu ostéoïde important.	38-45
uvais.	Fracture 2 ^e au niveau du bord infér. du manchon avec angulation, hypertrophie diaphysaire considérable.	Nécrose totale de la zone engainée; bourgeons émanant de chacun des 2 fragments diaphysaires tendent à réhabiter la gaine.	Les bourgeons néoformés sont constitués par un tissu trabéculaire infiltré de calcaires. Couche périphérique de tissu fibreux.			46-47

C. — INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES RÉACTIONS OBSERVÉES DANS LES TISSUS ET DANS L'OS AU COURS DES OSTÉOSYNTHÈSES MÉTALLIQUES

Une série de conclusions, d'observations relatives aux réactions de l'os et des tissus avoisinants vis-à-vis du matériel métallique d'ostéosynthèse peuvent être tirées des expériences relatées ci-dessus.

L'étude analytique et synthétique des faits observés permet de se rendre compte que ces réactions suivent des lois comportant un certain caractère de généralité. C'est ce que nous nous attacherons à étudier dans ce chapitre.

Les tests des réactions osseuses que nous avons pu réunir s'observent soit chez le chien vivant, soit après sacrifice de l'animal. Sur le chien vivant, c'est le résultat fonctionnel, l'état physique du membre et l'étude radiologique ; chez le chien sacrifié, c'est l'examen anatomique, macroscopique et microscopique que nous envisagerons successivement.

Parmi ces tests, tous ne sont pas de même valeur ; certains sont extrêmement variables : dans leur existence, dans leur importance, dans leur valeur absolue. Ce sont les appréciations d'ordre fonctionnel, physique, radiologique et macroscopique. Au contraire, l'un d'eux présente une valeur constante, c'est l'examen histologique. Il permet d'apprécier la réaction exacte de l'os, soit dans les cas où tous les autres facteurs sont apparents, soit au contraire lorsque l'un ou plusieurs des tests précédents ont été négatifs. C'est à l'examen histologique que nous donnerons la plus grande place, c'est à lui que nous nous adresserons pour apprécier le plus exactement possible les modifications de l'os au contact du matériel introduit.

4° OBSERVATIONS SUR LE CHIEN VIVANT.

A. Etat fonctionnel et tolérance vis-à-vis du matériel.

1° Le matériel n'est pas toléré.

Dans certains cas, nous avons observé une non-tolérance absolue des tissus vis-à-vis du matériel. Ces faits groupent, d'une part, toute une série d'expériences que nous n'avons pas reproduites, considérées par nous comme des échecs expérimentaux. L'introduction du matériel avait été suivie d'une suppuration importante avec décollement intermusculaire et sous-cutané, fistulisation jusqu'au point de mettre à nu le matériel métallique, en partie ou en totalité. La suppuration, cause essentielle de la non-tolérance du matériel, pouvait être attribuée soit à une infection exogène, soit à la suppuration secondaire d'un hématome volumineux. Il faut également invoquer, comme cause favorisant la suppuration, la situation trop superficielle du matériel introduit. En effet, lorsque, à la suite des interventions, le matériel prothétique se trouvait être recouvert uniquement par les plans cutanés, nous avons presque constamment observé l'infection. Ce phénomène, explicable par la proximité d'un corps étranger et d'une suture trop superficielle, a été également observé par Hey-Groves dans les expérimentations qu'il a pratiquées sur le lapin.

Dans une seconde série de cas, nous avons observé une non-tolérance complète au cours d'expériences que nous avons conservées : expériences qui avaient été réalisées de la façon habituelle et pour lesquelles les erreurs signalées plus haut avaient déjà été évitées.

Dans l'expérimentation sur le chien n° V (animal sur lequel avait été pratiquée une fracture oblique du radius, avec application ultérieure d'une lame de Parham), il s'est produit une suppuration avec fistulisation. L'examen physique révélait une mobilité complète des deux fragments l'un sur l'autre ; point essentiel sur lequel nous aurons à revenir. Le matériel était entouré d'une poche kystique importante et les lésions suppuratives étaient telles que nous n'avons pas utilisé les pièces pour un examen histologique. Les résultats auraient été faussés par l'importance des lésions d'infection surajoutée.

Sur le chien n° VI, porteur d'une fracture expérimentale du radius appareillée par une plaque de Sherman, fixée par deux lames de Parham, des phénomènes absolument identiques ont été observés. Ici aussi, nous

n'avons pas cru devoir pratiquer l'examen histologique qui eût été sans valeur démonstrative.

Dans l'expérience sur le chien n° XI, on observe également une non-tolérance absolue du matériel. Il s'agissait d'une fracture expérimentale du fémur appareillée par le manchon de Contremoulins. Celui-ci avait été serré d'une façon exagérée. Dans ce cas, la non-tolérance n'avait été que secondaire et résultait, non pas d'un processus d'infection, mais d'un phénomène de nécrose qui n'est survenu que tardivement ; l'animal ayant marché pendant les premières semaines après l'intervention, les accidents n'ont apparu qu'avec la mortification du segment osseux situé sous le matériel.

2° Le matériel est mal toléré.

On peut grouper ici une série de cas dans lesquels l'introduction du matériel a été suivie de l'apparition, au niveau du membre intéressé, des phénomènes suivants : œdème, gonflement, soit relativement limité, soit étendu à toute la longueur du membre. C'est le cas de l'expérience n° VII et de l'expérience n° VIII au cours desquelles avaient été appliquées : d'une part une agrafe de Cunéo, d'autre part une plaque d'Hallopeau fixée par deux lames de Parham. Dans l'un et l'autre cas, le gonflement et l'œdème n'apparurent que sur celle des deux pattes qui avait été fracturée. La patte opposée, sur laquelle avait été appliqué un matériel identique, n'a présenté aucun œdème et les suites opératoires ont été parfaites. Du reste, cette mauvaise tolérance n'a pas été suivie de suppuration manifeste ni de fistulisation.

Dans l'expérience pratiquée sur le chien n° X on a également observé un phénomène identique : il s'agissait d'une fracture du fémur appareillée par un manchon de Contremoulins. Un œdème énorme est apparu, suivi de l'évacuation secondaire, d'une collection séro-hématique, mais sans fistulisation définitive. Ici, il faut considérer l'importance du traumatisme nécessité par l'application du matériel. On avait dû exercer des délabrements musculaires considérables et ruginer les insertions des muscles de la ligne âpre sur une hauteur de plus de 10 cm (plus de la moitié de la hauteur totale du fémur). Il est logique de considérer que l'œdème observé après l'intervention est imputable à un gros épanchement séro-hématique. Il est d'autant plus probable que l'infection ne joue aucun rôle, que dans un tel hématome la survenue d'une infection, si minime soit-elle, n'aurait pas manqué de déterminer des décollements importants et une suppuration grave.

3° Le matériel est bien toléré.

Dans tous les cas où l'intervention a été pratiquée d'une façon régu-

lière, le matériel a été en général parfaitement toléré par les tissus. Les conditions optima de tolérance vis-à-vis de la prothèse métallique sont les suivantes : une intervention qui n'exerce pas un traumatisme exagéré au niveau des parties molles, sans dilacération musculaire importante, une hémostase soigneuse, une fermeture de la paroi satisfaisante sans tiraillements exagérés de la peau. En outre, et nous insistons sur ce fait, dans tous les cas où on a simplement posé un matériel d'ostéo-synthèse sans réaliser de fracture préliminaire, la tolérance a été bonne.

B. Examen radiologique.

Il est le complément nécessaire de l'examen physique pour apprécier les résultats chez le chien vivant. Il donne des renseignements en ce qui concerne d'une part le matériel, d'autre part l'état de l'os.

Pour le matériel, la radiologie précise la façon dont il est appliqué sur la surface osseuse, le mode de pénétration et la correction de la réduction. Nous n'entrerons pas dans les détails à ce sujet : toutes les figures radiologiques relatives au matériel seront envisagées dans le chapitre suivant à propos de chacune des variétés de prothèse.

En ce qui concerne l'os, la radiologie donne des renseignements relatifs aux faits suivants :

a) La continuité de la colonne osseuse et la mise en contact correcte des fragments.

b) L'état du périoste peut être apprécié dans une certaine mesure par la radiographie, surtout lorsque des formations sous-périostiques se traduisent par une ombre mal limitée, débordant la surface osseuse.

c) Le cal se manifeste par une ombre d'autant plus dense qu'il est plus ancien.

Un fait est à noter : c'est l'absence habituelle du cal au contact immédiat du matériel osseux. Ce phénomène a été observé et relaté dans la thèse de Millet ; il peut être traduit sur une radiographie à condition que l'incidence des rayons se fasse parallèlement à la surface de l'appareillage. C'est en particulier le cas pour la radiographie du radius droit du chien n° VII, dont la fracture a été fixée par une agrafe de Cunéo. On aperçoit entre les deux fragments un cal très net ; ce cal s'interrompt à quelques millimètres de la surface de l'os en regard de l'agrafe. Voir radiographie n° 48.

d) La densité osseuse peut être jugée d'une façon assez précise par la radiographie. Il est courant de trouver au voisinage immédiat des systèmes métalliques une zone de clarté, caractéristique d'une résorption osseuse. Cette clarté implique, ainsi que nous le verrons, une mobilité du matériel.

Ce fait n'est pas constant et on peut observer de la clarté au contact du matériel sans que l'examen anatomique ultérieur révèle une mobilité quelconque ; dans ce cas, il ne faut pas se contenter d'un examen macroscopique, et il est bien rare de ne pas trouver à l'examen histologique des lésions importantes qui rendent compte de cette raréfaction radiologiquement décelée.

Il est également habituel de trouver, contrastant avec la clarté paramétallique, des zones de densification osseuse immédiatement voisines. C'est là la traduction d'un phénomène biologique dès longtemps connu, et que nous signalerons à propos de chacune des expériences au cours desquelles nous l'avons constaté.

e) La nécrose, enfin, est décelée par l'examen radiologique. Nous n'avons en aucun cas observé de séquestration superficielle lamellaire sous le matériel d'ostéosynthèse ainsi que l'a signalé Millet. Par contre, il nous a été donné de constater des phénomènes de nécrose totale, liée à l'application d'un matériel excessivement serré. C'est le cas du chien n° XI et du chien n° VI à propos desquels nous aurons à revenir sur ces faits.

2° OBSERVATIONS APRÈS SACRIFICE DU CHIEN.

A. Examen macroscopique.

Il a porté systématiquement sur les parties molles et les os.

a) *Les parties molles.* — Les lésions des parties molles autour des foyers de fracture ou des zones d'application du matériel portaient sur les muscles et les tissus fibreux péri-osseux.

Les muscles se présentaient d'une façon très variable. Parfois ils n'étaient pas considérablement modifiés et avaient contracté, au niveau des zones ruginées, de nouvelles connexions avec l'os. Ce fait est particulièrement frappant en ce qui concerne les interventions sur le femur. Après sacrifice de l'animal, on ne pouvait reconnaître la zone de la ligne àpre sur laquelle on avait pratiqué une désinsertion instrumentale des

muscles. La réinsertion musculaire est particulièrement rapide, puisque pour le chien n° III elle était réalisée 12 jours seulement après l'intervention. Dans d'autres cas, au contraire, les traumatismes exercés sur les muscles au cours de l'intervention laissent des troubles cicatriciels importants : gangue fibro-musculaire diffuse, résistante, dans laquelle on ne peut plus individualiser les masses musculaires d'origine, et qui se traduit histologiquement par une véritable confusion fibreuse des fibres musculaires. Quelle que soit l'importance des délabrements cicatriciels des muscles, il est habituel de trouver sous la masse fibreuse une lame aponévrotique nettement individualisée et distincte qui représente le périoste, celui-ci jouant du côté externe le même rôle limitant qu'il joue sur sa face interne.

Directement contre l'os, le tissu fibreux présente en général une hypertrophie et de l'épaississement. Ces modifications sont du reste extrêmement variables en importance : parfois peu marquées, elles réalisent au maximum des formations hypertrophiques considérables dans lesquelles il n'est pas rare de constater l'existence d'une poche kystique.

Ce fait, observé déjà par Hey-Groves, chaque fois qu'il avait réalisé une ostéosynthèse n'assurant pas une immobilité absolue des fragments, a été constaté par nous exactement dans les mêmes conditions. C'est ce que nous montrent les procès-verbaux des expériences pratiquées sur les chiens suivants :

Chien n° V : fracture du radius appareillée par une lame de Parham, laissant les fragments mobiles. Le foyer de fracture est entouré d'une cavité kystique importante suppurée.

Chien n° VI : où la synthèse du radius par une plaque de Shermann et deux lames de Parham restait mobile et a été suivie de la formation d'un kyste analogue.

Chien n° X : porteur d'une fracture du fémur mal appareillée par un manchon appliqué de façon défectueuse, laissant les fragments mobiles.

Chien n° XI : enfin, qui, dans les mêmes circonstances avec le même appareillage exagérément serré, a été l'objet d'une nécrose totale du fémur. Autour du matériel était constituée une cavité énorme limitée par un décollement des tissus fibro-périostiques.

b) Os. — Les modifications observées au niveau de l'os portent sur l'aspect même de l'os et sur son enveloppe périostique.

Le périoste, qui a été systématiquement décollé pour toutes nos expériences, se reconstitue très rapidement, à telle enseigne que, dans la

vérification faite sur le chien n° III 12 jours après l'intervention, il recouvrait complètement la surface osseuse sans solution de continuité apparente.

La reconstitution du périoste peut se faire d'une façon telle qu'on le trouve à peine modifié, un peu épaissi seulement avec un très léger dépoli; c'est le cas du chien n° III. Par contre, chaque fois que l'on a utilisé un matériel saillant à la surface de l'os, le périoste présentait des modifications considérables. Ces modifications réalisent une hypertrophie qui s'étend en hauteur et en profondeur. En hauteur, l'épaississement périostique peut dépasser non seulement le matériel, mais également aller au delà de la zone sur laquelle avait porté le décollement préliminaire du périoste. En profondeur, le périoste subit des modifications, non seulement endogènes, mais également sur sa face profonde au niveau de laquelle peuvent se produire des néoformations osseuses à mailles plus ou moins serrées.

De telles hypertrophies périostiques tendent d'une façon générale à encapuchonner le matériel pouvant aller jusqu'à l'englober complètement. A vrai dire, au niveau même du contact entre la face externe du matériel et la face profonde du périoste, il n'y a aucune adhérence : le périoste est hypertrophié sur le pourtour de l'appareillage. Lorsque celui-ci est large, comme c'est le cas pour une vis et *a fortiori* pour une lame métallique, le périoste reste non adhérent et mobile à sa surface. Lorsque, au contraire, le matériel est étroit, ainsi que cela se passe pour l'agrafe de Cunéo, les hypertrophies périostiques se rejoignent au-dessus de la tige métallique et des câbles qu'elles peuvent arriver à englober complètement. Pour les manchons, enfin, le périoste réagit d'une façon particulière. Il reste non-adhérent à la surface de la gaine; mais au-dessus et au-dessous de chacun des bords libres il présente une hypertrophie considérable infiltrée de formations osseuses, de telle sorte que le manchon tend à être réengainé par une butée ostéo-périostique considérable. Au niveau des orifices que la lame présente à sa surface, existent des trousseaux constitués par un tissu fibro-vasculaire rougeâtre réunissant la face profonde du périoste, d'une part, à la lame conjonctive qui, ainsi que nous le verrons, recouvre l'os sous le manchon.

c) *Le cal*. — L'étude macroscopique du cal serait d'un intérêt capital. Mais, d'une part, ce que nous avons surtout en vue, c'est moins l'étude du cal que celle des réactions osseuses; d'autre part, nous ne possédons pas d'expériences suffisamment parallèles pour établir une comparaison

rigoureuse des réactions osseuses observées dans des fractures analogues : les unes appareillées, les autres laissées à elles-mêmes.

Lorsque le cal ne s'est pas produit, la zone interfragmentaire se présente, ainsi du reste que cela se passe dans la pathologie humaine suivant deux aspects. Ou bien, on est en présence d'un os mortifié dont les deux fragments montrent une tranche blanchâtre, ivoirine, luisante, sans aucune tendance à la régénération : c'est le cas pour les os nécrosés par striction exagérée ou profondément infectés (chiens n^{os} VI et XI); ou bien, on trouve un espace interfragmentaire occupé par un tissu fibreux plus ou moins dense, plus ou moins résistant et même infiltré par places de plages cartilagineuses, témoins d'une « fonctionnalisation » de deux fragments habituellement mobiles l'un sur l'autre. (Exemple : chien n^o X.)

B. Examen microscopique.

C'est, nous le répétons, l'élément essentiel d'étude et de comparaison pour apprécier d'une façon exacte le degré des modifications de l'os vis-à-vis du matériel métallique introduit. Ces modifications intimes, d'ordre histologique, varient suivant chaque cas, ainsi que nous le décrirons dans un chapitre ultérieur. Il y a cependant, au voisinage des appareils prothétiques, une réaction qui a, dans tous les cas, certains caractères communs. Ce sont eux que nous allons nous attacher à définir ici.

La lame compacte subit, au contact d'un corps étranger, qu'il y ait pénétration du matériel dans l'os, ou simplement une application périphérique de ce matériel, une atrophie dans sa substance fondamentale et ses ostéoblastes. Ce processus aboutit à l'élargissement des canaux de Havers et à une hypertrophie de l'axe conjonctivo-vasculaire qui les traverse. Les canaux de Havers ainsi modifiés viennent se terminer à la face profonde du périoste ancien ou néoformé. En effet, quand le matériel d'ostéosynthèse sépare le périoste de la lame compacte, on trouve néanmoins, au contact même de l'os, une lame de tissu fibreux jeune, qui s'est développé entre l'os et le matériel métallique.

L'origine de cette lame néoformée paraît être due à un étalement du système haversien ou à un ensemencement fibroblastique d'un exsudat séro-plasmatisque dû au décollement du périoste au cours de l'intervention.

Le périoste, qu'il soit décollé ou non dans le voisinage du matériel métallique, est constamment hypertrophié et montre une réaction inflammatoire amicrobienne parvenant parfois aux limites de la suppuration.

Sous l'action de ce processus irritatif, le périoste édifie à sa face profonde un système osseux trabéculaire qui vient s'implanter sur la lame compacte tout autour du matériel de synthèse. En cas de mobilité par consolidation incomplète du foyer de fracture, ou mauvaise application du matériel, on voit apparaître dans le cal périosté des placards de substance cartilagineuse et ostéoïde.

La réaction de la moelle osseuse est bien différente suivant qu'il y a ou non fracture. Sans fracture et sans matériel pénétrant dans la lumière du canal médullaire, les réactions de la moelle sont minimales. Elles consistent dans une simple réaction embryonnaire au contact de la lame compacte correspondant extérieurement au matériel métallique appliqué sur l'os. Sans fracture, mais avec un matériel perforant la lame osseuse compacte, les réactions médullaires sont beaucoup plus vives. Généralement le matériel est entouré dans son trajet médullaire d'une gaine ostéo-fibreuse. Plus à distance, les néoformations trabéculaires disparaissent et on observe alors une activation myéloïde intense avec production de nombreux mégakaryocytes. En cas de matériel métallique présentant une certaine mobilité, ces réactions sont beaucoup plus intenses. La moelle est remplacée dans sa presque totalité par un volumineux bourgeon ostéo-spongieux qui s'étend très loin à l'intérieur du canal médullaire. Dans tous les cas de fracture, la moelle s'ossifie en un tissu spongieux plus ou moins dense. Le tissu médullaire subsistant ressemble alors d'une manière frappante aux canaux de Havers élargis de la lame compacte. Les trois éléments : placards osseux sous-périostés, lame compacte ostéoporosée, et moelle ossifiée, ont alors une structure identique, celle d'un tissu osseux, spongieux, de moyenne densité. Dans ces cas d'homogénéisation, il devient impossible de préciser les limites respectives du périoste, de la compacte et de la médullaire.

Comme nous le voyons, les réactions de l'os vis-à-vis du matériel métallique sont différentes suivant les cas. Parfois évidentes, elles sont souvent discrètes, parfois même insoupçonnables sans l'examen histologique qui constitue ainsi le test essentiel d'appréciation de l'état du tissu osseux. Cette lésion histologique présente un degré différent suivant les cas dans sa profondeur et dans son extension. Mais elle n'est pas essentiellement variable si l'on compare celle observée lorsque le matériel n'est pas toléré avec celle des os qui ont toléré leur matériel d'une façon parfaite. D'une façon générale la lésion histologique offre des caractères communs, quelle que soit la façon dont l'os s'est comporté vis-à-vis du matériel métallique. Il s'agit seulement d'une question de degré et de profondeur en ce qui concerne la lésion osseuse. Ainsi on

peut considérer que tout est subordonné à la lésion anatomique histologiquement décelable. C'est par elle que nous allons apprécier l'influence du matériel d'ostéosynthèse suivant :

Son type mécanique ;
Sa constitution chimique ;
Sa durée d'application ;
Son mode d'application.

II. — RÉACTIONS SUIVANT LE TYPE MÉCANIQUE DU MATÉRIEL

Elles varient d'une façon générale, suivant chaque type de matériel introduit. Mais on peut établir une première distinction entre le matériel pénétrant l'os et le matériel en surface, non pénétrant.

I^o Matériel pénétrant.

Il comporte les vis isolément appliquées, les plaques fixées au moyen de vis et les agrafes de Cunéo.

a) *Les vis.* — Les expérimentateurs ont étudié l'action des vis pénétrant dans l'os en se plaçant à un point de vue différent de celui que nous envisageons.

Nous ne citerons que pour mémoire les travaux de Katzenstein qui, introduisant des vis dans des diaphysés sans avoir dépériosté l'os, a constaté, en dehors de l'apparition de fistules persistantes, des modifications importantes à l'intérieur de la cavité médullaire. A ce niveau il constata autour des fragments de périoste introduit par la pénétration de la vis, au lieu d'une réaction de type osseux, des zones de réaction fibreuse extrêmement importantes mettant en évidence le fait que cette membrane constitue un organe de limitation et de prolifération fibreuse, mais en aucune manière un élément générateur ou déclencheur d'ossification.

Plus proches de nos recherches sont celles pratiquées par Hey-Groves et relatées dans son ouvrage sur le traitement moderne des fractures. Il envisagea plus particulièrement la variété de vis à utiliser pour l'ostéosynthèse, arrivant à cette conclusion que, d'une part, il est nécessaire d'utiliser des vis dites « vis à métaux » dont le pas de vis plus court, les rainures plus profondes, la coupe cylindrique permettent de tenir plus fermement dans l'intérieur du tissu osseux. D'autre part, il insista, en ce qui concerne la mobilité des vis, sur la nécessité d'utiliser des vis longues perforant la moelle de part en part et mordant jusque dans la corticale

opposée. En effet, dans toutes les expérimentations pratiquées par lui chaque fois qu'il se servait de vis courtes, peu pénétrantes, il se produisit une mobilité secondaire du matériel et des fragments avec formation consécutive d'une cavité kystique. Au contraire, l'utilisation d'un matériel long, mordant dans la corticale opposée, assurant une immobilité permanente des fragments, était toujours à l'origine d'une excellente tolérance de la part des tissus. Les reproches que l'on peut adresser à ces expérimentations, pourtant remarquables, résident essentiellement dans le fait de l'absence d'une vérification histologique, à telle enseigne qu'il est impossible par des appréciations grossières de fixer la mesure exacte dans laquelle un tel matériel est véritablement favorable.

Dans nos expérimentations, nous nous sommes efforcé de considérer la vis suivant son principe mécanique. A ce point de vue, il faut considérer que toute vis, quelle qu'elle soit en longueur, grosseur et forme, présente deux parties mécaniquement distinctes :

1° Le corps de la vis à destination intra-osseuse qui mord dans l'os en deux régions bien distinctes. La partie externe est en plein tissu compact, dur, résistant, au sein duquel le pas de la vis tient d'une façon ferme et solide.

La partie interne pénètre au contraire dans le tissu médullaire qui est essentiellement lâche et n'offre pas à la vis une résistance suffisante pour s'opposer à des forces importantes. Ce phénomène est d'autant plus grave que c'est précisément au sein de ce tissu réticulaire, lâche, que se font les mouvements de plus grande amplitude en cas de mobilité secondaire du matériel. Dans ces conditions, rien ne s'oppose à une excursion large de l'extrémité de la vis qui constitue le grand bras d'un système de levier.

2° La tête de la vis, partie externe, est appliquée contre la face périphérique du tissu compact. Elle constitue à elle seule, ou solidairement avec une plaque, l'agent de résistance vis-à-vis des forces extérieures représentées par la tendance divergente des deux fragments sous l'effort musculaire. Toute cette résistance se porte ainsi sur la face externe du tissu compact.

Expérimentalement, on peut étudier, d'après les comptes rendus de nos recherches, les deux modes différents d'action de chacune de ces deux parties de la vis.

En ce qui concerne le corps de la vis, la figure 7 (p. 45) relative à l'expérimentation du chien n° II est fort démonstrative. On observe sur cette coupe transversale, autour du puits de pénétration du corps de la

vis les modifications suivantes au niveau de la compacte et de la médullaire :

Dans la compacte on note au voisinage du cratère des images très nettes de raréfaction osseuse se manifestant par une dilatation considérable des canaux de Havers. La raréfaction s'étend périphériquement et sur toute la hauteur de cette lame. On peut observer, en outre, à l'intérieur du cratère des débris osseux probablement entraînés par le pas de vis, mais on ne constate en aucune manière l'image festonnée à laquelle on aurait pu s'attendre du fait de l'existence à ce niveau du fil de la vis. Au niveau de la moelle, on observe tout autour du cratère un cône réactionnel qui circonscrit entièrement le cratère. Ce cône est constitué par du tissu osseux de néoformation formant des trabécules qui engainent complètement la cavité déterminée dans la moelle et la séparent du tissu médullaire normal. A la limite du cône, on observe une travée qui de chaque côté borne exactement la cavité du cratère.

En ce qui concerne l'action de la tête de la vis sur le tissu osseux, il faut se reporter à la figure 4 (p. 56) relative à l'expérience pratiquée sur le chien n° 1 et fort démonstrative à ce sujet. La coupe transversale passe un peu en dehors du cratère, au niveau du point d'appui de la tête de vis sur la corticale. Au niveau de la compacte on constate une dilatation manifeste des canaux de Havers, dilatation qui, en largeur, répond à peu près au point d'application de la tête de vis et en profondeur n'intéresse que la partie superficielle de la compacte. Quant à la médullaire sous-jacente, on y observe également une réaction osseuse du type trabéculaire. Cette réaction siège précisément dans la zone de la cavité médullaire qui correspond à l'endroit d'application de la tête de la vis sur la surface de l'os. Il y a pour ainsi dire une véritable transmission de forces rendue manifeste par ces lésions concomitantes.

b) *Vis et plaques*. — Des expérimentations nombreuses ont été faites chez l'animal touchant cette variété de matériel. Il faut à ce sujet encore citer le nom de Hey-Groves qui a insisté sur l'application de plaques sur les deux faces de l'os maintenues solidaires par des écrous traversant l'os de part en part. Bartlett a réalisé également des ostéosyntheses par plaques vissées sur des fémurs de chien. Il a observé histologiquement le processus de régénération et constaté que l'union des deux fragments était réalisée par un cal émané de la région irritée par le matériel introduit et qui, au bout d'un laps de temps suffisant, arrive à remplir complètement la médullaire. En France, enfin, les travaux les plus importants relatifs à l'expérimentation dudit matériel ont été faits par Millet. Nous

avons déjà dit qu'il a insisté surtout sur l'apparition fréquente de nécrose superficielle sous la plaque.

Dans nos études relatives à l'influence des plaques maintenues par des vis nous avons tenu compte du principe mécanique d'un tel appareillage. Les vis introduites dans l'os constituent la force pénétrante dans la même mesure que les vis isolées. La lame constitue l'élément de résistance solidaire pour toutes les vis fixées dans le tissu osseux. Cette résistance est caractérisée par la largeur de l'appui qu'elle prend sur la surface de l'os et par la façon exacte dont la lame moulée et incurvée s'applique sur la convexité de l'os.

Tenant compte de ces éléments mécaniques, les réactions microscopiques que nous avons observées sont les suivantes : En ce qui concerne l'action de la vis, elle n'est en rien différente de celle observée dans le cas précédent. En ce qui concerne l'action sur l'os de la lame, nous rappelons que, sous la coupe longitudinale de la pièce, on avait observé non seulement une modification de la médullaire en forme de cône réactionnel autour du cratère de la vis, mais encore à la partie superficielle de la médullaire correspondant à la zone recouverte par la plaque, on observait une altération identique, sinon en épaisseur, du moins en coloration, en densité et en consistance. Les coupes pratiquées dans cette pièce, dans le même sens longitudinal, montrent bien (voir fig. 7) les lésions suivantes : la lame compacte sur laquelle était appliquée la plaque présente une dilatation haversienne manifeste, la limite externe de la lame compacte est nette sans aucune néoformation trabéculaire et on n'observe en aucune manière de tendance à la mortification qui rappelle, même de loin, les lésions signalées par Millet.

c) *Agrafes de Cunéo*. — Les agrafes de Cunéo sont constituées, comme nous l'avons vu, par une pièce longitudinale appliquée sur la longueur de l'os, maintenue par deux crochets recourbés à angle droit et prenant point d'appui dans la compacte; la contention de l'agrafe sur l'os est assurée par l'attache circulaire de câbles métalliques. Par cet appareillage, avec une pénétration minime, avec une largeur également très diminuée de la pièce longitudinale, on arrive à réaliser une contention solide du fait de l'appui circulaire réalisé par les câbles. Ainsi, la résistance aux efforts extérieurs n'est pas limitée à un point, mais étendue à toute la circonférence de l'os; étant donnée la largeur restreinte de ce point d'application circulaire, il est permis de prévoir logiquement que l'influence de ce matériel ne sera pas très nocive pour le tissu osseux.

Les réactions doivent être ainsi étudiées au niveau des trois éléments constitutifs de l'appareillage : crochets, pièce intermédiaire, câbles.

1° *Crochets*. — L'étude très démonstrative de la planche n° 9, relative au chien n° III, montre au niveau de la lame compacte des lésions absolument comparables à celles que l'on trouve habituellement dans cette zone, mais localisées au pourtour exact du cratère. Les dilatations haversiennes ne s'étendent que très peu à distance. Ce fait est en rapport probable avec l'absence d'une force brutalement exercée sur la compacte ainsi que cela se passe sous la tête d'une vis. Quant à la réaction médullaire, elle se présente comme un cône de travées osseuses très limité. L'examen de la planche n° 10, qui montre une coupe longitudinale passant par le cône réactionnel, indique bien l'étendue peu importante de la modification de la médullaire. Cette altération porte sur les travées immédiatement adjacentes au cratère d'introduction du crochet.

2° *Pièce intermédiaire* : constituant le corps de l'agrafe.

L'étude des réactions déterminées par cette partie du matériel peut être faite sur le dessin n° 19 relatif à l'expérimentation faite sur le chien n° VII. On observe à la surface de la compacte une très légère dépression, limitée par des bords nets, entamant à peine la surface de l'os. Le fond de cette dépression est tapissé de tissu fibreux. La compacte présente une dilatation haversienne : il s'agit d'une lésion absolument comparable à celle observée sous la plaque de Shermann, mais beaucoup moins intense, beaucoup moins étendue.

5° *Câbles*. — L'application du câble sur la surface de l'os se traduit sur la planche n° 12 (chien n° III) par l'image suivante : on aperçoit à la surface du tissu compact le lit du câble métallique représenté par une érosion minime de la corticale et tapissée par du tissu conjonctif. Sous cette dépression, la résorption osseuse est peu marquée, quant à la réaction concomitante de la moelle elle est quasi inexistante. On voit donc combien discrète est la réaction de l'os vis-à-vis de la striction par câbles métalliques.

Des auteurs avaient considéré longtemps ce mode de fixation comme extrêmement nocif pour l'os, invoquant des troubles pouvant aller jusqu'à la nécrose et compromettant gravement la régénération de l'os avoisinant. Il semble bien que ces craintes soient injustifiées. Confirmant les conclusions de Kirschner qui avait réalisé une expérimentation analogue, nous pensons que, d'une part, les troubles trophiques exercés par le

câble sont minimales ; d'autre part, que les troubles vasculaires même s'ils existent sont peu importants, étant donnée l'existence d'une circulation collatérale suffisante.

2° Matériel non pénétrant.

Les appareillages non pénétrants utilisés procèdent de principes mécaniques différents : ce sont les fils métalliques isolés ou combinés à une attelle, les lames isolées où fixant une plaque ; enfin, le manchon de Contremoulins.

a) *Fils métalliques*. — Nous n'avons pas voulu insister sur ces expérimentations qui ont été très souvent réalisées en utilisant des fils de métaux variables et de constitution différente suivant les auteurs (ressorts métalliques, corde de piano). Nous avons seulement réalisé une ligature osseuse par câbles de Cunéo pour reproduire les expériences que Kirschner avait réalisées avec du fil d'acier. Nous ne reviendrons pas sur les considérations que nous avons faites à ce sujet ; elles ne sont pas différentes de celles concernant le câble combiné à l'agrafe de Cunéo. Rappelons seulement que certains auteurs gardent l'opinion contraire à la nôtre, considérant que le matériel circulaire est d'autant plus dangereux que son appui est plus limité et que sa striction est plus forte.

b) *Lames de Parham*. — Les lames de Parham appliquées isolément sont souvent suffisantes pour réunir deux os, même lorsque les fragments sont puissamment sollicités dans un sens contraire par les contractions musculaires. Du reste, il faut savoir que, en pratiquant le serrage des lames de Parham doucement et sans à-coup, on peut arriver à réaliser des strictions considérables. Les lames de Parham peuvent résister à une force progressive de 200 kg. On s'explique ainsi aisément les nécroses qu'il est possible d'observer. Cela s'est produit dans l'expérimentation sur le chien n° VI, nécrose totale sur laquelle nous avons déjà insisté.

Les réactions observées au cours d'une application correcte peuvent être étudiées sur la planche 25. Elle montre une coupe transversale passant par la lame appliquée sur la fracture du chien n° VIII. A ce niveau, la compacte présente des images de résorption très importante. Elle prend un aspect spongieux sur toute la circonférence et la dilatation des canaux de Havers maxima vers la périphérie de la compacte est beaucoup plus discrète vers la limite centrale. Au niveau de la médul-

laire, on observe également une sclérose qui intéresse sur une hauteur minimale tout le pourtour de la moelle au contact de la lame compacte.

c) *Plaques métalliques avec lames de Parham.* — Comme on peut s'y attendre, les lésions observées au contact de ce matériel (chiens n° VI et VIII) résultent de la combinaison des lésions observées dans les deux cas précédents.

Pour le chien VIII, sur lequel le matériel a été appliqué sans réalisation d'une fracture expérimentale, on constate sur la coupe transversale (fig. 26) une dilatation circulaire des canaux de Havers qui prédominent en un point. Ce point correspond au niveau de l'application de la plaque et présente des dilatations plus volumineuses, plus étendues en profondeur. La moelle sous-jacente montre une réaction trabéculaire alors qu'on n'en observe nulle part ailleurs sur le reste de la périphérie. Pour le chien IV, la coupe transversale passant également au niveau de la lame de Parham et coupant le point d'application de la plaque (voir figure 14) montre la même réaction osseuse, mais il n'y a pas eu de fracture chez ce chien. Ce qu'on observe est d'une façon générale identique à l'image précédente, mais beaucoup plus discret, au point que la réaction de la médullaire en face de la zone d'application de la plaque est pratiquement inexistante.

d) *Manchons de Contremoulins.* — Le principe mécanique sur lequel est basé l'appareillage de Contremoulins est le suivant : application d'un matériel circulaire portant sur une large étendue. Il réalise une fixation qui assure un double avantage :

1° Une immobilisation parfaite des deux fragments osseux, si toutefois l'application du manchon est correctement réalisée.

2° En appliquant sur l'os la même résistance totale, il l'étend sur une très large surface, de telle sorte que la pression exercée en un point donné diminue proportionnellement à la largeur de la surface couverte.

Pour étudier les réactions de l'os, il faut envisager la surface recouverte et la limite de l'engainement. Sous le manchon, les lésions que l'on peut suivre sur la coupe longitudinale montrée par la planche n° 35 (chien n° IX) sont les suivantes : la compacte est doublée extérieurement d'une lame conjonctive de néoformation qui s'est produite entre l'os préalablement dépériosté et le manchon. Dans la compacte, on observe des lésions de résorption minimales. Si l'on se reporte à la coupe transversale du même chien (fig. 54), on constate que sur toute la périphérie de l'os, la compacte est très peu touchée, sauf cependant en un point qui

correspond à la zone où le manchon est le plus fortement assujéti à la surface osseuse (zone diamétralement opposée aux attaches de fixation). Quant à la médullaire, on y observe un réseau trabéculaire de néoformation. Il semble, du reste, que ce réseau réactionnel semble moins dû à la transmission de la pression du manchon qu'au bourgeonnement intramédullaire du foyer de fracture très voisin. Sur les bords du manchon, on observe les lésions suivantes : un cal périphérique volumineux qui est développé entre le périoste décollé et la lame compacte. Ce cal périphérique est constitué par un système de trabécules osseuses à mailles serrées contenant un nombre considérable de myéloblastes, indiquant l'existence à ce niveau d'un processus évolutif particulièrement actif. La formation ainsi constituée prend une large implantation sur la surface de la compacte et, au niveau de la zone de réflexion du bourrelet ostéopériosté sur la compacte, on observe l'existence de zones ostéoïdes importantes. Voir planche n° 54. Il s'agit là d'une véritable adaptation fonctionnelle, l'apparition du tissu ostéoïde et cartilagineux étant liée vraisemblablement à l'action du cisaillement exercée par le fragment supérieur sur le bord libre du manchon. Quant à la compacte, elle présente les mêmes modifications que dans la zone engainée,

III. — RÉACTIONS DE L'OS SUIVANT LA CONSTITUTION CHIMIQUE DU MATÉRIEL EMPLOYÉ

Les travaux expérimentaux sur la tolérance de l'os vis-à-vis des différents métaux sont très nombreux, tant en France qu'à l'étranger. La constitution chimique du matériel métallique employé a de tout temps été une des questions principalement étudiées. Nous ne citerons que les travaux les plus récents se rapportant à ce problème. Nous verrons d'ailleurs que les résultats obtenus par les différents expérimentateurs sont variables et souvent contradictoires.

D'après les travaux de Zierold, les métaux les mieux tolérés par l'os sont l'or, l'aluminium et la stellite. En pratique, l'or a été peu employé comme matériel de base. Par contre, les chirurgiens ont souvent eu recours à un matériel de prothèse recouvert d'une mince couche d'or. L'aluminium n'offre pas une solidité suffisante et n'entre guère en ligne de compte pour la confection d'un matériel de synthèse. A ces métaux qui provoquent une réaction osseuse minime, Zierold oppose d'une part le nickel, très mal toléré ; d'autre part, l'acier et le fer. Ses expériences lui permettent en effet de conclure que l'acier et le fer sont mal tolérés, qu'ils empêchent la réparation osseuse.

Babl, au contraire, arrive à des conclusions toutes différentes. Pour lui, l'acier est un matériel excellent donnant un minimum de réaction. Block est du même avis. D'après ses expériences, l'acier trempé Krupp serait le matériel idéal pour l'ostéosynthèse.

Le même désaccord existe en ce qui concerne le bronze d'aluminium. Pour Contremoulins, cet alliage est particulièrement favorable : il est inoxydable et ne donne pour ainsi dire pas de réaction osseuse. Block a constaté, au cours de ses expériences, que le bronze d'aluminium était mal toléré.

Les aciers contenant des sels de magnésie ont été étudiés par Zierold. Il a constaté que ces métaux provoquent une réaction intense du tissu conjonctif et qu'ils sont mal tolérés par l'os. Hey-Groves arrive à des conclusions semblables. Pour lui, ces métaux, grâce à leur teneur en

magnésie, favorisent la régénération osseuse quand ils sont employés sous forme de prothèse intramédullaire. Ils provoquent dans ce cas une irritation de la moelle qui semble favoriser l'ossification. Par contre, ils seraient nuisibles en tant que matériel appliqué sur la périphérie de l'os. Dans ce cas, ils provoqueraient une altération marquée de la lame compacte et empêcheraient la régénération osseuse.

Citons également la thèse intéressante de Millet qui a réalisé des expériences avec plaque et vis métalliques de Lambotte. Il a démontré que la régénération osseuse est arrêtée au contact du matériel.

Les travaux de Rolland sur la tolérance de l'os aux métaux de constitution chimique variable sont particulièrement intéressants. Il a placé dans le tibia de chiens des fils métalliques de nature différente et arrive aux conclusions suivantes : le bronze d'aluminium provoque une infiltration verdâtre dans les tissus avoisinant le matériel. L'argent est oxydable et dépose des sels argentiques noirâtres. Le fer doux est de même mal toléré. Très oxydable, il est attaqué et dissocié par la lymphe. L'acier doux galvanisé donne un minimum de réaction tant osseuse que tissulaire périphérique.

M. Rolland a de plus étudié les réactions produites par un matériel de constitution chimique complexe. Ses expériences ont porté sur plusieurs combinaisons métalliques : les câbles métalliques formés d'acier et de laiton ne donnent pour ainsi dire pas de réaction. Par contre, les associations argent-laiton et fer doux-laiton sont moins bien tolérées. Ces expériences posent le problème du couple électrique. Cette question a été fortement controversée par de nombreux auteurs. Nous ne pouvons entrer dans le détail de ces discussions. Il semble néanmoins certain que l'association de deux métaux différents provoque dans l'organisme des phénomènes électrolytiques. Ces faits sont intéressants, car, pour certains auteurs, ils contre-indiqueraient l'emploi d'un matériel bi-métallique.

Nos expériences personnelles nous ont permis de constater certains faits. Le matériel en acier doux bleuté que nous avons employé pour la presque totalité de nos expériences provoque une réaction évidente, mais peu marquée. Nous avons constaté autour du matériel de prothèse une infiltration microscopique de blocs métalliques. Ces particules ferriques sont fortement attaquées, morcelées et transformées par de nombreux macrophages. Notons en particulier que les canaux de Havers situés au contact du matériel sont, dans certains cas, littéralement bourrés de pigments ferriques.

Dans plusieurs expériences, nous avons employé un matériel en acier nickelé ou doré (voir observations II, IV, VIII). Dans tous ces cas, nous

avons observé des réactions modérées. En particulier, la plaque en acier doux nickelé a donné lieu à des réactions minimales. Nos expériences réalisées avec le manchon métallique de Contremoulins (bronze d'aluminium Durville) nous ont montré que ce métal est parfaitement toléré et qu'il est peu attaqué dans l'organisme.

Les faits que nous avons observés sont donc en désaccord apparent avec les résultats obtenus par certains autres expérimentateurs. Mais nous devons signaler que nos expériences portent sur un laps de temps relativement court. En effet, ce n'est que dans nos expériences pour lesquelles la durée d'observation dépasse 40 jours que nous avons constaté un dépôt métallique macroscopiquement visible. Dans les cas de durée moindre, ce n'est que l'examen microscopique qui nous a permis de déceler la présence de sels d'oxydation. Il semble donc que l'attaque du matériel métallique par les sucs de l'organisme soit un processus relativement lent qui augmente progressivement. Ces phénomènes d'oxydation et de résorption locale de pigments métalliques deviennent macroscopiquement visibles après un séjour d'un mois du matériel métallique dans l'organisme vivant.

Nous ne croyons pas que l'action de présence chimique du matériel suffise à empêcher la régénération osseuse.

Si, en théorie, les métaux inoxydables sont préférables, et s'il vaut mieux éviter les associations de couples métalliques, il semble néanmoins qu'en pratique la constitution chimique du matériel ne joue qu'un rôle secondaire dans la tolérance de l'os vis-à-vis de l'appareil de synthèse.

IV. — RÉACTION DE L'OS SUIVANT LA DURÉE D'APPLICATION DU MATÉRIEL MÉTALLIQUE

En mettant en parallèle les résultats expérimentaux variables que nous avons obtenus avec un procédé quelconque d'ostéosynthèse, nous avons été frappé du fait que la réaction de l'os dépend dans une certaine mesure de la durée d'application du matériel. Nous avons remarqué que les réactions de l'os changent d'intensité et même de nature avec la durée plus ou moins longue de la prothèse. Prenons un exemple. Le chien n° III a été porteur d'une agrafe du Professeur Cunéo et de trois câbles circulaires pendant 12 jours pour le fémur gauche et 52 jours pour le fémur droit. La confrontation des deux observations montre des différences évidentes dans la réaction de l'os vis-à-vis du matériel métallique.

Le périoste est au 12^e jour parfaitement reconstitué, légèrement hypertrophié. Il présente une réaction embryonnaire très vive et une infiltration considérable de pigments ferriques. Au 52^e jour, le périoste est beaucoup plus épais. L'infiltration embryonnaire a diminué. Le tissu conjonctif prend davantage le type fibreux. La face profonde du périoste a édifié un système spongieux trabéculaire volumineux. Celui-ci était à peine indiqué au 12^e jour.

La lame compacte présente également des lésions qui augmentent avec le temps. Au 12^e jour l'os compact est peu modifié. On constate simplement une légère dilatation des canaux de Havers au contact du matériel métallique. Après 52 jours les altérations sont évidentes. La compacte a été résorbée dans le voisinage de l'agrafe. Le cratère osseux a doublé de volume, ses bords sont irréguliers en état de résorption progressive.

La moelle osseuse réagit de même avec une intensité plus grande pour une durée plus longue de la prothèse. Au début on observe simplement un cône réactionnel spongieux enserrant de près le trajet intramédullaire de l'agrafe. A distance la moelle présente un aspect histologique normal. Après 52 jours on constate une infiltration large du canal

médullaire par les néoformations osseuses trabéculaires. La moelle a été remplacée dans sa presque totalité par du tissu réactionnel.

Cliniquement ces deux observations s'opposent par le fait que le matériel était strictement immobile au 12^e jour et qu'il présentait une certaine mobilité après 52 jours.

Nous avons choisi pour exemple le cas du chien n° III parce qu'il est particulièrement démonstratif. Citons également l'exemple radiographique du chien n° VII (planche 17); 27 jours après la fixation sur le radius d'une agrafe du Professeur Cunéo, on ne constate pas la moindre trace d'ostéoporose autour du matériel de prothèse. 65 jours après l'intervention on trouve autour des crochets de l'agrafe une plage claire d'ostéoporose. Cliniquement le matériel sans réaction radiographique apparente était immobile; le matériel ayant entraîné au 65^e jour de l'ostéoporose avait perdu sa fixité initiale.

Pour nos autres expériences, nous pourrions démontrer des différences analogues suivant la durée d'application du matériel. Cela nous obligerait à des redites fastidieuses. Le fait important à noter est celui que les réactions de l'os vis-à-vis du matériel métallique évoluent lentement, qu'elles s'accroissent avec le temps et que, pour les observer avec précision, il faut pratiquer des expériences nombreuses afin de suivre les différentes étapes du processus réactionnel. Nous avons voulu surtout démontrer que l'accentuation des signes réactionnels coïncide avec l'apparition d'un fait particulier : la mobilité secondaire du matériel.

Or on constate que les expériences qui n'ont pas été suivies de mobilité secondaire (voir les observations des chiens II, IV et IX) ont donné lieu à une réaction histo-pathologique minime et que cette réaction n'augmente pas d'intensité avec la durée d'application de la prothèse. Ces faits semblent imposer la conclusion que l'intensité de la réaction histologique mesure le degré de mobilité du matériel. En somme, la durée d'application de la prothèse n'interviendrait que comme facteur d'extériorisation histologique d'une lésion initiale. Nous verrons plus loin le bien-fondé de cette hypothèse.

V. — RÉACTIONS DE L'OS SUIVANT LE MODE D'APPLICATION MÉCANIQUE DU MATÉRIEL

Nous avons vu dans les chapitres précédents que les réactions de l'os vis-à-vis du matériel varient suivant le type mécanique, la constitution chimique et la durée d'application du matériel. Mais ces différents éléments ne permettent pas d'expliquer tous les faits réactionnels que nous avons observés. Il reste un facteur à étudier : c'est le mode d'application mécanique du matériel. Cet élément nous a semblé beaucoup plus important que les précédents. Pour chaque matériel employé, nous avons réalisé deux expériences : l'une avec une application mécaniquement correcte du matériel, l'autre avec application volontairement défectueuse. Nous étudierons successivement les résultats obtenus en considérant, d'abord, le matériel à pénétration osseuse, ensuite le matériel à application périphérique.

I. Matériel pénétrant.

a) *Vis*. — Nous renvoyons aux observations des chiens I et II. La confrontation des planches reproduisant une coupe passant par le puits de la vis (planches 5 et 7) est particulièrement démonstrative. On constate que, si les réactions histologiques sont du même type, elles sont absolument différentes quant à leur intensité. Pour le chien n° II, le cratère osseux est bien conservé. Au contact du matériel, les canaux de Havers sont légèrement dilatés, la réaction osseuse est peu intense. Les modifications de la moelle sont strictement localisées à une zone conique entourant le puits de la vis. A ce niveau on constate une néoformation osseuse trabéculaire. A distance, la moelle offre un aspect histologique normal.

Pour le chien n° I, on constate des lésions analogues, mais poussées à l'extrême. Ici, en effet, la lame compacte présente une résorption osseuse considérable, à tel point qu'elle semble remplacée au contact du matériel par du tissu spongieux. La moelle osseuse a édifié des trabé-

cules néoformées qui s'étendent très à distance. Les éléments normaux de la moelle ont disparu. Nous reproduisons ci-dessous (fig. 48 et 49) en

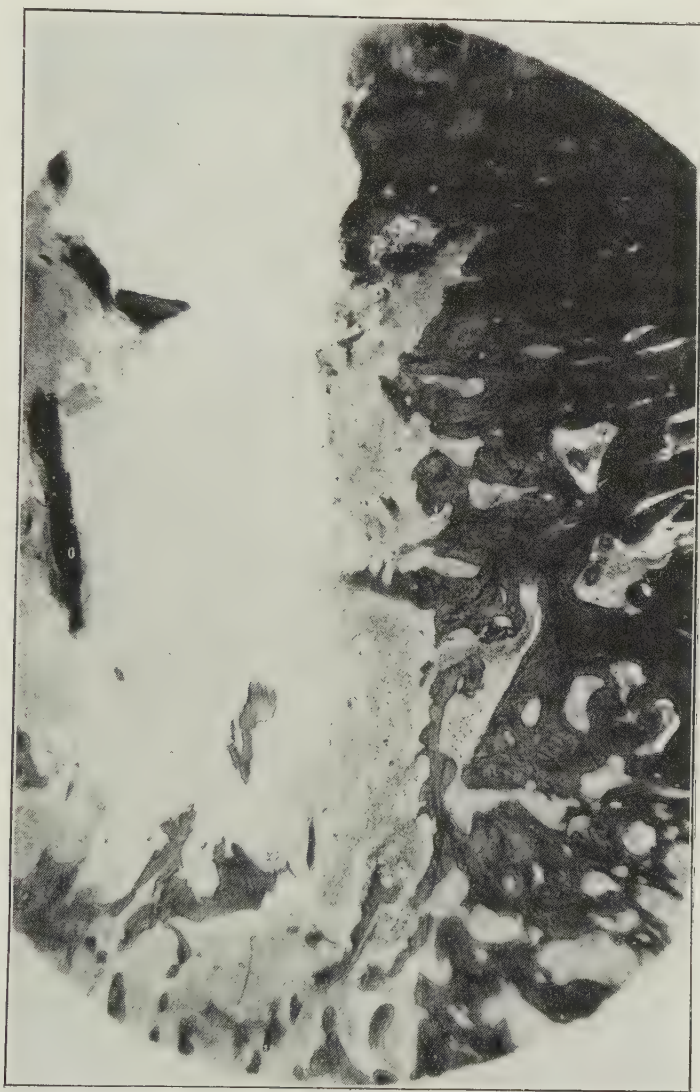


Fig. 48. — Détail de la coupe reproduite figure 5.
Bord osseux du puits d'une vis ayant présenté de la mobilité secondaire.
La lame compacte est transformée en tissu spongieux.

microphotographie à fort grossissement les bords du puits dans la lame compacte. La comparaison des deux planches montre d'une façon

évidente des lésions infiniment plus marquées pour le chien n° I. Insistons encore sur le fait que l'on constate dans ce cas un tissu de gra-



Fig. 49. — Détail de la figure 7.

Puits d'une vis bien tolérée. Taraudage correct. — La lame compacte est peu altérée.

nulation à la limite de la suppuration qui entoure le puits de la vis. Ce tissu est pour ainsi dire inexistant sur la coupe du chien n° II. Ces différences microscopiques coïncident avec des faits cliniques précis : la vis du chien n° II qui présente peu de réactions histologiques a été bien

tolérée; la vis du chien n° I à grosse réaction anatomo-pathologique est devenue secondairement mobile. Ces constatations trouvent leur explication dans le mode d'application mécanique différent pour chacun des deux cas.

Application correcte de la vis pour le chien n° II : en effet, nous nous sommes servis d'un perforateur dont le diamètre correspondait strictement à celui de la vis mesurée au fond du filet. Nous avons taraudé le puits avec un instrument d'un diamètre inférieur de $1/10$ de mm à celui de la vis. Nous avons donc pu mettre en place la vis sans écraser les lamelles osseuses. La vis a été bien tolérée.

Application mécaniquement défectueuse de la vis du chien n° I :

Dans ce cas, il existait une différence de $4/10$ de mm entre le diamètre du taraud et celui de la vis. Ce fait a produit un écrasement des lamelles osseuses qui secondairement ont été résorbées. Le matériel est ainsi devenu mobile. Or, la mobilité du matériel entraîne à son tour une raréfaction du tissu osseux compact et augmente la réaction intramédullaire. Ces observations montrent donc à l'évidence l'importance d'une mise en place mécaniquement correcte du matériel employé.

b) *Agrafe du Professeur Cunéo et câbles périphériques.* — Nous renvoyons pour ce cas à l'observation du chien n° III. Nous reproduisons ci-contre la microphotographie à fort grossissement du puits de l'agrafe pour les deux interventions réalisées sur ce chien (fig. 50 et 51).

La fig. 50 qui reproduit le cratère osseux 12 jours après l'intervention montre une lame compacte relativement peu modifiée. Le bord du cratère osseux est irrégulier et présente des éclats, mais on ne voit pas de résorption osseuse marquée. La médullaire est modifiée dans une zone conique limitée.

La fig. 51 montre des réactions plus marquées. Il existe une néoformation sous-périostée trabéculaire extrêmement vive. Elle forme un bourrelet qui tend à recouvrir le crochet de l'agrafe. La lame compacte, sur le bord du cratère, présente des lésions de résorption s'étendant de proche en proche et marquées par des lacunes évidentes. Ces différences histologiques coïncident avec des faits cliniques particuliers. La figure 50 montre l'état du cratère 12 jours après l'intervention avec un matériel absolument immobile. La figure 51 montre le cratère 52 jours après l'intervention, avec une très légère mobilité secondaire du matériel. Il semble qu'avec ce matériel l'intensité de la réaction osseuse et de la résorption augmente progressivement avec la durée d'application du matériel et qu'elle ne soit pas en rapport avec le mode d'application

mécanique. En réalité, c'est pourtant une question mécanique qui intervient.

En effet, le matériel du Professeur Cunéo est mis en place après forage



Fig. 50. — Détail de la figure 9.

La lame compacte est peu altérée. La réaction intramédullaire est très localisée.

préalable des puits intra-osseux de l'agrafe. Perforateur et agrafe ont le même diamètre. En théorie il existe donc une mobilité absolue. Mais il suffit que les deux puits ne soient pas forés de façon strictement parallèle pour qu'à l'introduction des crochets de l'agrafe dans la lame compacte

on lèse forcément, par écrasement, la paroi d'un puits. Dans ce cas, il y aura nécrose des lamelles osseuses avec résorption et mobilité secon-



Fig. 51. — Détail de la figure 11.

Réaction sous-périostée considérable, qui tend à recouvrir l'agrafe.

La lame compacte présente des signes de résorption.

daire. Celles-ci, à son tour, augmentera la réaction de l'os vis-à-vis du matériel. Nous voyons donc que, dans ce cas également, il est très important de placer l'agrafe correctement et sans écrasement osseux.

Il est néanmoins évident que le matériel du Professeur Cunéo, en prenant un point d'appui en surface sur toute la longueur du crochet, tiendra plus solidement, malgré une certaine mobilité que ne le ferait, par exemple, une vis devenue mobile. Car l'appareillage de Mr. Cunéo tient non seulement par le crochet de l'agrafe, mais surtout par le câble périphérique circulaire qui solidarise l'agrafe et l'os. Or, nous avons vu sur une coupe (figure 12) que le câble circulaire ne provoque que peu de lésions et qu'en général la résorption osseuse est insuffisante pour le rendre secondairement mobile.

Les deux types de matériel pénétrant que nous avons considérés, vis et agrafes, s'opposent par un principe mécanique important. En effet, que la vis soit fixée dans l'os soit isolément, soit comme partie constitutive d'un matériel combinant vis et plaque, celle-ci ne tient dans l'os que par le pas de vis creusé dans la lame compacte. Il suffit que les parties osseuses formant le complément du pas de vis se résorbent progressivement pour que la vis devienne mobile et que du même coup cesse toute contention osseuse. Au contraire, l'agrafe du Professeur Cunéo ne tient pas seulement par le puits du crochet creusé dans la lame compacte, mais encore par le point d'appui solide du câble circulaire. On conçoit qu'avec ce matériel, la contention existe encore même avec une mobilité légère des deux éléments constituant le matériel.

II. — Matériel non pénétrant.

Tout procédé d'ostéosynthèse à matériel non pénétrant prend forcément un point d'appui circulaire sur la périphérie de l'os. Suivant la largeur du point d'appui, le matériel est formé de fils métalliques, de lames ou de manchons. Fils et lames peuvent être employés soit isolément, soit combinés avec une plaque qui solidarise les différents éléments circulaires. Nous étudierons successivement les fils, les lames et les manchons, en confrontant nos résultats expérimentaux avec les faits relatés par d'autres auteurs.

a) *Fils métalliques.* — Nous n'avons employé comme fils métalliques que les câbles en fil de fer recuit galvanisé faisant partie du matériel de synthèse de M. le Professeur Cunéo. Nous avons déjà noté à ce sujet que le câble, serré correctement comme au cours d'une ostéosynthèse faite chez l'homme, ne produit qu'un minimum de lésions de la lame compacte, et seulement dans la partie toute superficielle de cette lame. Nous

n'avons pas pratiqué d'expérience étudiant les altérations produites par un câble serré de façon excessive ou insuffisante. Pour cette question, nous nous reportons aux travaux si intéressants de Kirschner. Celui-ci a prouvé par des expériences nombreuses que la vitalité de l'os n'est pas compromise par un étranglement circulaire, même s'il est réalisé avec une forte pression, à condition toutefois que la compression circulaire



Fig. 52. — Détail de la figure 25.

La lame compacte est transformée en tissu spongieux.

La lame métallique était appliquée sur la partie droite de la coupe.

ne s'exerce que sur une zone très étroite. Il explique cette observation par le fait que la zone comprise sous le cerclage métallique étroit, avoisinant des zones non comprimées et bien vascularisées, conserve une vitalité suffisante. Il a noté que le fil métallique n'entraîne une résorption osseuse et une dilatation des canaux de Havers que dans la zone toute superficielle de la lame compacte. La partie profonde de la compacte ne réagit pas. Par contre, la moelle osseuse peut présenter des lésions atténuées dans la partie périphérique, immédiatement sous-jacente à la compacte comprimée. Ces faits observés par Kirschner coïncident en

tous points avec nos résultats expérimentaux. Kirschner termine en indiquant qu'un cerclage très serré, mais limité à une zone étroite, ne donne pas plus de lésions qu'un cerclage de même diamètre serré modérément. D'après toutes nos observations expérimentales, nous

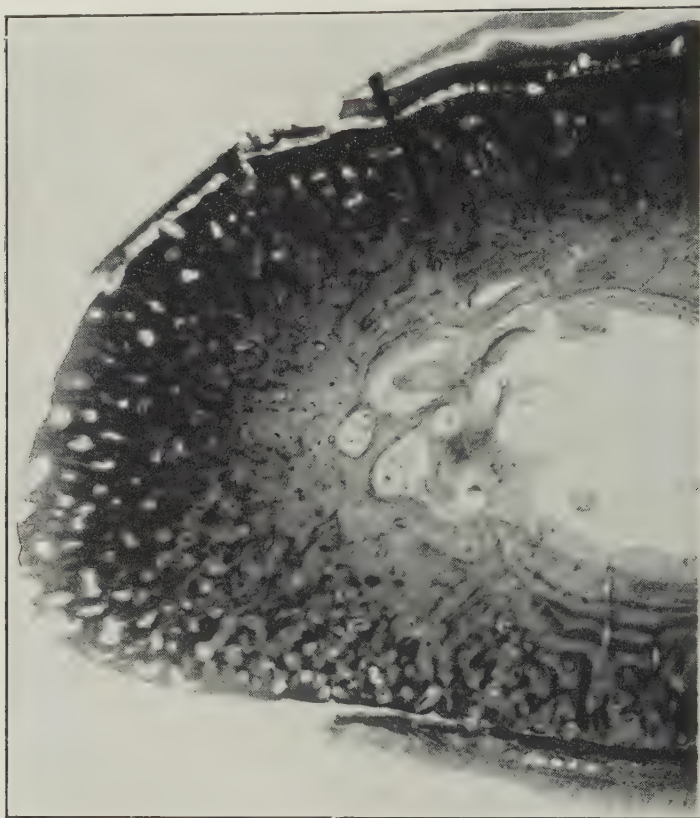


Fig. 53. — Détail de la figure 26.

La résorption osseuse est particulièrement marquée dans la partie gauche de la coupe, à l'endroit où était appliquée la plaque métallique.

serions même tenté d'admettre qu'un cerclage insuffisamment serré et ayant conservé une certaine mobilité produirait des lésions d'ostéoporose plus étendues.

b) Lames métalliques. — Nous avons employé des lames de Parham soit isolées, soit combinées avec une attelle métallique.

Lames de Parham isolées. — Observation du chien n° V.

Sur une fracture expérimentale du radius, nous avons appliqué une seule lame de Parham serrée correctement. La contention des fragments était insuffisante. Il persistait une certaine mobilité des deux fragments l'un par rapport à l'autre. C'est donc un cas d'application mécanique défectueuse. Le résultat a été un échec par suppuration. Ici encore,



Fig. 54. — Détail de la figure 54.

Zone ostéoïde très nette à l'endroit de réflexion du cal périphérique sur la lame compacte.

nous trouvons la mobilité comme facteur essentiel d'une réaction qui, pour le cas présent, est allée jusqu'à la suppuration franche.

Lames de Parham combinées avec une attelle métallique. — Nous renvoyons aux observations des chiens n^{os} 6 et 8.

Les deux micro-photographies que nous reproduisons ci-contre sont des reproductions à un plus fort grossissement (figures 52 et 53). Ces reproductions montrent une réaction énorme de la lame compacte avec

résorption considérable et véritable aspect spongieux. Sur les deux coupes, l'emplacement de l'attelle métallique est marqué par une exagération de ces lésions. Signalons que la résorption osseuse existe surtout dans la zone périphérique de la lame compacte, mais qu'on peut également la constater dans ses couches profondes. La planche reproduisant la coupe du radius fracturé montre que le canal médullaire est rempli dans sa totalité par d'épaisses néoformations osseuses (fig. 52). Plus intéressante est la planche qui représente le radius sur lequel on a simplement appliqué le matériel métallique sans pratiquer de fracture (fig. 53). Ici, en effet, on peut étudier les réactions médullaires dues simplement au matériel. On constate que la moelle a réagi dans une zone périphérique, en particulier au-dessous de la plaque métallique. Ici encore, on retrouve les lésions produites par la transmission à la médullaire d'une pression exercée sur la périphérie de la lame compacte. Aux lésions que nous venons de décrire s'opposent les altérations produites par des lames de Parham appliquées de façon mécaniquement défectueuse.

Lames de Parham combinées avec une attelle mécanique et serrées de façon excessive (observation du chien n° 6). — Dans ce cas, nous avons poussé à l'extrême le serrage des lames de Parham. Nous avons pratiqué une striction circulaire excessive. Le résultat a été la nécrose avec séquestration de toute la zone comprimée. Ce fait prouve le danger d'une striction circulaire trop marquée dès qu'elle atteint une certaine largeur. Notons que la radiographie du chien n° VI que nous reproduisons (figure 16) prouve encore le fait intéressant que le matériel, devenu secondairement mobile, entraîne une zone d'ostéoporose autour de ce matériel.

En résumé, nos constatations expérimentales concernant les réactions dues aux lames de Parham prouvent :

1° Avec un matériel bien appliqué, on observe une ostéoporose marquée de toute la lame compacte avec légère réaction médullaire périphérique.

2° Avec un matériel présentant une certaine mobilité, on observe une réaction entraînant la suppuration. Ces mêmes faits ont été observés par d'autres que nous, en particulier par Hey-Groves.

3° Avec un matériel trop serré, on produit la mortification de l'os avec séquestration.

Le mode d'application mécanique joue donc un rôle capital dans l'emploi des rubans métalliques de Parham.

c) *Plaques métalliques*. — Quant aux plaques et attelles métalliques, elles sont toujours associées soit à un matériel pénétrant, soit à un matériel circulaire.

Comme plaque combinée avec un matériel pénétrant, nous avons employé la plaque et les vis de Lambotte. Pour ce cas, nous renvoyons à l'observation déjà citée du chien n° II. Nous avons appliqué la plaque correctement sans serrage excessif des vis. Nous n'avons observé qu'une légère dilatation des canaux de Havers dans la partie superficielle de la lame compacte sous-jacent à la plaque. Par contre, Millet relate dans sa thèse qu'il a constaté des lésions plus marquées, caractérisées par la nécrose superficielle de la lame compacte avec formation d'un séquestre lamelliforme. Il admet que ces lésions sont dues à la réaction chimique de la plaque. Nous admettrions plus volontiers que la nécrose superficielle, que nous n'avons d'ailleurs jamais observée, est produite par la compression. Mais nous n'avons point d'expérience sur ce sujet.

Comme plaque associée à un matériel circulaire, nous avons employé l'attelle métallique d'Hallopeau (observations des chiens n°s 4 et 8). Nous n'avons constaté que peu de lésions produites par la plaque. Elles consistent dans une dilatation plus marquée des canaux de Havers et dans une résorption osseuse plus intense de la couche superficielle de la compacte. Ce n'est là, en somme, que l'exagération des altérations produites par les lames circulaires.

Il eût été intéressant d'étudier les lésions produites par une plaque trop fortement assujettie, ou au contraire mobile sur l'os, de rechercher les altérations que l'on pourrait observer dans le cas où la plaque ne prendrait sur l'os qu'un point d'appui linéaire au lieu de s'appliquer correctement par toute sa surface. Nous supposons que dans ces cas de mauvaise application mécanique, on aurait observé des lésions plus marquées. En particulier une nécrose par écrasement des lamelles osseuses suivie d'une résorption considérable entraînant de la mobilité secondaire. Malheureusement cette documentation nous fait défaut.

d) *Manchon métallique de Contremoulins*. — Nous avons rapporté trois expériences. Observations des chiens n°s 9, 10 et 11. Ces trois expériences se différencient et par les résultats obtenus et par le mode d'application du matériel pour chacune d'elles.

I. — Application correcte du manchon. Chien n° 9.

Dans ce cas, on note une réaction histologique minime. Il est remarquable en particulier, que la lame compacte qui a été en contact avec le

matériel de prothèse sur une très grande étendue ne présente pour ainsi dire aucune lésion. On ne constate en effet pas d'ostéoporose de la lame compacte. La moelle osseuse présente un léger degré de congestion vasculaire. Il existe des néoformations trabéculaires osseuses, mais celles-ci semblent se développer en partant du foyer de fracture. Il est donc logique d'admettre qu'elles font partie du cal osseux intramédullaire et qu'elles ne dépendent pas de la pression exercée sur la lame compacte. Il faut d'ailleurs remarquer que le manchon de Contremoulins ne produit qu'une compression légère de la lame compacte. Sa très large surface d'application permet d'obtenir une immobilité parfaite des fragments et du matériel en exerçant sur un point donné de la lame compacte une pression infiniment moindre que celle qu'il serait nécessaire d'exercer sur le même point avec un matériel à surface d'application plus limitée.

II. — Application défectueuse du manchon de Contremoulins. Observation du chien n° 10. Dans ce cas, il persistait une certaine mobilité malgré un serrage moyen. Les lésions histologiques sont infiniment plus marquées que pour le cas précédent. La lame compacte présente un certain degré d'ostéoporose dans toute la zone située au-dessous du manchon et en particulier au niveau du bord supérieur du manchon. De même, la réaction intramédullaire est plus vive. Les travées spongieuses néoformées s'étendent plus à distance du foyer de fracture.

III. — Enfin, nous avons pratiqué une troisième expérience (observation du chien n° 11), au cours de laquelle nous avons volontairement serré à l'extrême le manchon. Avec le matériel d'ostéosynthèse de Mr. Contremoulins, on arrive à exercer sur chaque patte de serrage du manchon une traction atteignant près de 500 kg. Il est évident que l'os ainsi comprimé se nécrose rapidement. Nous avons observé en effet une séquestration complète de toute la partie de la diaphyse engagée par le manchon.

Ces trois expériences sont très démonstratives, car elles montrent les différentes réactions de l'os suivant que le matériel est bien appliqué, c'est-à-dire serré moyennement et complètement immobile, ou mal appliqué, que ce soit par défaut de contention ou par excès de pression.

Il est également intéressant de confronter l'évolution du foyer de fracture dans les trois cas considérés.

En cas de bonne application avec immobilité absolue, la fracture se consolide rapidement. On constate sur une coupe histologique une

ossification solide. Dans le deuxième cas, avec mobilité des fragments, on trouve dispersées çà et là des cristallisations calcaires et des plages ostéoides. Mais il ne se fait pas d'ossification vraie. Les deux fragments restent séparés l'un de l'autre par du tissu conjonctif qui évolue vers la différenciation fibreuse ou cartilagineuse. Il semble que la mobilité des fragments empêche le tissu conjonctif d'utiliser les dépôts de calcium et de suivre l'évolution normale vers la différenciation en tissu osseux. Enfin, dans le cas de manchon trop serré, la séquestration de toute une partie de la diaphyse empêche évidemment la consolidation de la fracture. Nous voyons en somme que du mode d'application mécanique du manchon dépend le résultat obtenu dans chaque cas particulier.

Les pages qui précèdent imposent à l'esprit une conclusion formelle : les réactions anatomo-pathologiques de l'os vis-à-vis du matériel de prothèse, les résultats tant fonctionnel que physique de l'ostéosynthèse, dépendent moins du type mécanique, de la constitution chimique du matériel ou de la durée d'application de la synthèse, que du mode d'application mécaniquement correct ou incorrect du matériel.

D. — DISCUSSION DU PRINCIPE MÉCANIQUE DE L'OSTÉOSYNTHÈSE ET CONCLUSIONS PRATIQUES

A. — DISCUSSION DU PRINCIPE MÉCANIQUE DE L'OSTÉOSYNTHÈSE

Nous avons vu dans le chapitre précédent que les fautes mécaniques d'application du matériel d'ostéosynthèse jouent un rôle considérable. Dans la pratique chirurgicale, on n'observe pas les erreurs grossières que nous avons volontairement commises dans nos expériences. Il ne saurait exister de chirurgien capable de provoquer par le serrage excessif d'une lame de Parham ou d'un manchon métallique la nécrose de tout le segment osseux sous-jacent. De même aucun chirurgien ne considérerait comme satisfaisante une ostéosynthèse, quand il persiste à la fin de l'intervention une mobilité évidente du matériel et des fragments. Nous avons néanmoins tenu à reproduire expérimentalement ces lourdes fautes, car elles constituent l'exagération à l'extrême d'erreurs mécaniques, qui souvent passent inaperçues et qui néanmoins ont la même importance pour le pronostic fonctionnel de l'ostéosynthèse.

Afin de rendre ces faits plus facilement compréhensibles, il nous faut tout d'abord étudier le principe mécanique de l'ostéosynthèse. On nous reprochera peut-être de ne considérer que le point de vue mécanique et de laisser dans l'ombre le facteur de réaction biologique. Nous ne sommes pas simpliste au point d'admettre que l'ostéosynthèse ne constitue qu'un problème mécanique. Mais nous sommes persuadé que la réaction biologique est en dépendance directe de l'action mécanique. De plus, les phénomènes d'ordre physico-chimique qui se passent dans l'intimité du tissu osseux sont d'une complexité extrême et échappent encore pour la plus grande part à notre connaissance. Force nous est donc de limiter notre étude à celle du facteur mécanique. Nous nous efforçons

rons néanmoins de mettre en parallèle, autant que faire se peut, l'action mécanique et la réaction biologique.

L'ostéosynthèse, comme l'indique son nom, est la coaptation chirurgicale de fragments osseux. Tout chirurgien pratiquant une ostéosynthèse fait en somme œuvre de mécanicien. Mais l'ostéosynthèse obéit à des lois mécaniques particulières dues au fait que l'os est une matière vivante, essentiellement instable.

Il faut considérer dans le problème de l'ostéosynthèse trois facteurs :

- Les forces développées et leur point d'application ;
- Les points d'appui du matériel et les pressions subies par l'os à ce niveau ;
- La réaction biologique de l'os au niveau des points d'appui.

Nous étudierons successivement :

- I. — Le mécanisme physiologique.
- II. — Le problème mécanique de la contention.
- III. — Les réactions biologiques de l'os vis-à-vis du matériel de contention.

I. — Mécanisme physiologique du foyer de fracture :

Dans un foyer de fracture, ou plus exactement sur l'extrémité osseuse des fragments, agissent des forces de nature différente. Elles sont de trois ordres. D'une part des forces passives représentées par la pesanteur du membre et les mouvements imposés au membre fracturé. Elles agissent avec une violence d'autant plus grande que le bras de levier de transmission est plus long. D'autre part, une force active : la contraction musculaire. Pour réduire la fracture, il faut vaincre momentanément ces différentes forces. En pratique, cela est réalisé par l'extension du membre et par l'anesthésie. La réduction de la fracture étant opérée, les forces susdites continuent à agir et tendent à reproduire le déplacement des fragments. C'est le matériel d'ostéosynthèse qui, par sa force de contention, doit contre-balancer et annuler ces forces agissantes.

Les forces extérieures sont les plus considérables. Toute mauvaise position du membre agit sur le foyer de fracture avec une force multipliée par le bras de levier. On peut observer des efforts atteignant plusieurs centaines de kilogs.

La contraction musculaire joue de même un rôle important. Elle tend

de façon continue à raccourcir le membre par la traction qu'elle exerce sur l'extrémité du membre. De plus pour chaque segment de membre un groupe musculaire est toujours fonctionnellement prédominant. Cette force produit des mouvements d'inflexion. Citons un exemple concret : une fracture de la diaphyse fémorale. La contraction musculaire raccourcit le membre et produit le chevauchement des deux fragments l'un sur l'autre. Les muscles fessiers provoquent l'abduction du fragment supérieur, tandis que les muscles adducteurs attirent en dedans l'extrémité inférieure du fragment inférieur. Ainsi les deux fragments tendent à former une crosse à convexité externe. Le matériel de synthèse devra s'opposer à ces mouvements complexes.

Pour étudier la force de pesanteur du membre fracturé, nous citerons également un exemple : une fracture des deux os de la jambe au tiers inférieur. Dans ce cas, le membre, en décubitus dorsal, repose naturellement sur la saillie des muscles postérieurs de la jambe et sur le talon. Entre les deux points d'appui, le membre reste en porte-à-faux. Le foyer de fracture a donc la tendance à s'affaisser en produisant une angulation des deux fragments.

Telles sont les différentes forces auxquelles doit s'opposer le matériel de contention. Rappelons encore que la force qui intervient avec la violence la plus considérable est celle qui, appliquée à l'extérieur sur le membre, agit par l'intermédiaire d'un bras de levier plus ou moins long.

II. — Mécanisme de la contention.

La contention des fractures par les appareillages d'ostéosynthèse doit être adaptée aux lois générales de la physiologie mécanique des foyers de fracture telle que nous venons de la décrire. En pratique, comme nous le verrons ultérieurement, on peut réserver tout le travail au système d'ostéosynthèse ; c'est alors à lui seul qu'est dévolue toute la résistance à opposer, aux forces extrinsèques ou d'origine musculaire. D'autres fois on adjoint à l'appareil d'ostéosynthèse, appliqué à même le foyer de fracture, un système extérieur qui supporte une grande partie de l'effort. Pour arriver à établir un schéma du principe mécanique suivant lequel la contention est réalisée par les appareils d'ostéosynthèse, nous envisagerons les cas purs dans lesquels toute la résistance est dévolue à l'appareil prothétique à l'exclusion de toute aide extérieure (plâtre ou appareil à extension continue).

Si on étudie les appareils prothétiques en général, on voit qu'ils ont

des caractères communs. Tous peuvent être considérés comme schématiquement constitués par la résultante d'un double système de forces : l'une pénétrant ou appuyant sur l'os maintient les deux fragments, l'autre applique l'appareil à la surface de l'os. Si on envisage les choses d'une façon plus précise, on voit que ces principes mécaniques changent avec chaque type d'appareillage. C'est ce que nous allons envisager. En outre, pour chaque type d'appareil prothétique donné, il existe des modalités résultant de la forme anatomique de la fracture, de son siège sur l'os, de la direction de son trait. Nous allons ainsi étudier chaque type d'appareil en le considérant à un triple point de vue :

- a) Point d'appui du matériel ;
- b) Mécanisme de montage ; ces deux éléments représentant les constantes mécaniques de chaque variété d'appareil.
- c) Adaptation du matériel au trait de fracture, qui constitue l'élément variable d'un cas à l'autre pour chaque type d'appareil.

a) *Plaque et vis.* — Le matériel d'ostéosynthèse, constitué par la combinaison d'une plaque et de vis, prend un double point d'appui osseux. Il résiste aux forces actives par les filets du pas de vis. C'est le point d'appui essentiel du matériel. La plaque joue un rôle de liaison entre les différentes vis et transmet à une plus grande surface d'application l'effort subi. Si les vis perdent leur point d'appui osseux, la plaque est privée de toute force de contention. Signalons que dans ce procédé de synthèse les forces de torsion sont supportées exclusivement par les vis. En somme, toute la solidité du matériel réside dans les filets des vis qui représentent le seul élément stable. Ce matériel est donc caractérisé par le fait qu'il prend un point d'appui restreint. Les pressions subies par l'os au niveau du point d'appui sont considérables.

Quant au montage de ce matériel, il offre des difficultés très grandes. Le puits des vis doit être foré et taraudé de façon extrêmement précise et sans réaliser l'écrasement des lamelles osseuses. La moindre faute de technique expose à la nécrose du trajet osseux du pas de vis. Les vis deviendront alors mobiles et le matériel perdra toute solidité. Si en taraudant il faut éviter l'écrasement des lamelles osseuses, il faut éviter également de laisser trop de jeu entre la vis et le puits osseux ; car les forces transmises au matériel provoqueraient l'ébranlement continu de ce dernier et produiraient de ce fait l'écrasement de l'os. Dans l'un et l'autre cas le résultat serait le même : le matériel perdrait toute force de contention. En somme, le matériel d'ostéosynthèse à vis est un maté-

riel à montage mécanique difficile, car il doit être appliqué d'une façon très précise.

Enfin, suivant la variété de la fracture, il faut modifier l'appareillage. En ce qui concerne la plaque, il convient d'utiliser une plaque plus ou moins longue suivant que le trait transversal ou oblique offre une plus grande résistance à la contention. C'est dans les fractures transversales que sera nécessité l'emploi des plaques les plus longues réalisant, sur chacun des deux fragments, un bras de levier plus résistant. De même, il faut adapter la largeur de la plaque avec le volume de l'os à appareiller. A ce point de vue, les plaques incurvées, se moulant sur la convexité des os, prennent un point d'appui plus intime et plus efficace que les plaques rectilignes, souvent séparées de la surface osseuse par un interligne; cet interligne existe même quand les vis sont fermement appliquées dans l'épaisseur de l'os. Or la surface utile ne se mesure pas par le volume de la plaque, mais par l'étendue de la surface qui se trouve véritablement en contact de l'os. Aussi, les craintes conçues par un grand nombre d'auteurs, relativement à la largeur du recouvrement osseux, ne semblent pas confirmées par nos expériences. Nous rappelons en effet que nous n'avons pas observé, au cours de nos recherches, les séquestrations superficielles observées sous les plaques par d'autres auteurs (Millet par exemple). Par contre, ce qui nous paraît être de la première importance, c'est l'élément de force en levier exercée par la lame au-dessus et au-dessous du foyer de fracture sur chacun des fragments osseux. On conçoit dans ces conditions combien la force de levier devra être plus puissante pour les fractures transversales que pour les fractures obliques.

Ce que nous venons de dire pour une plaque est vrai aussi quand on applique sur un même foyer de fracture deux attelles dont les forces sont combinées et dont la résultante s'oppose toujours à la tendance divergente des fragments. Dans cette éventualité, il s'agit surtout de choisir les faces de l'os sur lesquelles on doit fixer les deux plaques; pour cela il faut s'efforcer de lutter contre la direction prédominante dans laquelle sont entraînés les deux fragments. Un tel système de plaques couplées fixées par des vis a été utilisé par les chirurgiens anglais suivant un mode spécial sur lequel nous allons revenir un peu plus loin.

En ce qui concerne l'adaptation des vis sur les fragments et leur adaptation au type et à la forme des fractures, il faut envisager le nombre de vis et la longueur des vis.

Le nombre des vis modifie complètement la façon dont le système applique ses forces dans l'épaisseur de l'os. Du reste, le fait de mettre

dans un des deux fragments un nombre de vis supérieur à celui introduit dans l'autre n'implique pas du tout que l'adaptation à l'os en sera plus solide. Dans la solidité de la fixation intra-osseuse des vis interviennent, nous l'avons vu plus haut, des facteurs nombreux (mobilité des fragments, écrasement de la compacte, bon ou mauvais taraudage). Ces facteurs interviennent autant sur plusieurs vis que sur une, si bien que l'on peut voir se réaliser le fait suivant observé par nous dans une expérimentation non relatée dans notre travail : la plaque au bout d'un certain temps tenait au fragment sur lequel elle avait été fixée par une seule vis ; au contraire, elle s'était séparée de l'autre fragment d'où s'étaient énuclées les deux vis qui y avaient été introduites. Il semble qu'il faille combiner autant que possible la force de fixation de chacune des branches de la plaque avec la force que peut développer chaque fragment suivant le bras de levier qu'il constitue en fonction de la situation de la fracture sur l'os.

Quant à la longueur des vis, elle intervient surtout dès que se produit le moindre « foirage ». Nous avons montré qu'une extrémité de vis libre à l'intérieur de la cavité médullaire devient très traumatisante lorsque la mobilité survient. C'est pourquoi certains auteurs préconisent l'utilisation de vis d'une longueur telle que, par leur extrémité, elles arrivent à mordre sur la compacte du côté opposé. Nous avons vu au cours de notre séjour dans le service du Dr Lapointe ce procédé être utilisé d'une façon courante et donner des résultats pleinement satisfaisants. Les chirurgiens anglais ont du reste poussé cette conception plus loin. Remplaçant la vis par un boulon, ils fixent des lames (soit une seule, soit deux appliquées sur les faces opposées de l'os) avec des boulons traversant de part en part toute l'épaisseur de l'os et maintenus du côté opposé par un écrou.

Enfin, l'application des vis pourra être rendue difficile du fait d'un trait de fracture très oblique presque longitudinal : comme les plaques ne peuvent être appliquées que dans le sens de la longueur de l'os parallèlement à son axe, il est, dans ces conditions, difficile de trouver une zone de l'os suffisamment éloignée du trait pour constituer un bon terrain d'application.

Les éléments mécaniques que nous venons de donner sont du reste loin d'être constants. Il convient de les adapter à chaque type de fracture et de trouver la combinaison mécanique et physiologique qui réalise l'immobilisation la plus parfaite possible des fragments. C'est à cette condition que le foyer de fracture se trouvera en état de devenir le siège des phénomènes de régénération et de réaliser une consolidation satis-

faisante. Nous avons montré combien la mobilité était un élément essentiel de réaction pathologique de l'os vis-à-vis du matériel métallique : la première condition pour obtenir une bonne tolérance est de réaliser une adaptation primitive du matériel qui soit mécaniquement parfaite.

b) *Agrafes et câbles.* — Le point d'appui de l'appareillage de Cunéo (agrafes et câbles métalliques) se fait par un double système : l'un étant l'élément d'accrochage dans la profondeur de l'os se fait par chacun des crochets recourbés à angle droit et pénétrant dans la corticale et la partie superficielle de la médullaire. Il s'agit là d'un simple contact plus ou moins serré suivant que l'adaptation du trou au crochet est bien ou mal réalisée. Il suffit pour cela de se servir d'un perforateur ayant strictement le même diamètre que l'agrafe. L'autre système est représenté par les éléments superficiels qui sont appliqués à la périphérie de l'os : ce sont d'une part, le corps de l'agrafe disposé suivant l'axe principal de l'os et parallèlement à lui ; d'autre part, les câbles circulaires qui assurent l'adaptation des agrafes à la surface de l'os et pour ce faire sont placés perpendiculairement à l'axe de la diaphyse.

Ce système superficiel adapté à la surface de l'os constitue un réseau en forme de croix. Si l'on voulait réaliser une contention mécanique parfaite avec ce procédé, il faudrait, pour lutter contre les forces divergentes des fragments osseux, faire un système constitué par trois agrafes disposées sur le pourtour de l'os à égale distance les unes des autres ; en d'autres termes, vu sur une coupe, l'os devrait être appareillé par les agrafes disposées en triangle équilatéral. A la surface, ce système idéal devrait être maintenu par quatre câbles, à raison de deux sur chaque fragment. Ainsi serait réalisé un équilibre parfait des forces également et symétriquement réparties sur l'ensemble de l'appareillage. Une telle disposition du matériel est pratiquement impossible ; elle nécessiterait des délabrements importants des parties molles qui n'iraient pas sans entraîner des troubles trophiques graves.

En pratique, on applique deux agrafes maintenues en général par quatre câbles. La disposition ainsi obtenue n'est mécaniquement pas satisfaisante, mais elle suffit du moins, quand elle est bien réalisée, à mettre en contact solide les extrémités osseuses.

Lorsque l'appareil est bien appliqué, d'aplomb sur l'os, la partie moyenne étant à même la surface osseuse, les crochets prennent un point d'appui normal, mécaniquement satisfaisant. Ils sont en effet perpendiculaires à la surface de l'os et contractent avec le puits de forage un

large contact en surface. Si au contraire, l'adaptation de l'appareillage à la surface de l'os est mal réalisée, si le corps de l'agrafe n'est plus parallèle à l'axe de la diaphyse, le crochet prend alors une direction oblique. Il pénètre dans le puits en faisant un angle avec sa direction; le contact entre crochets et puits au lieu de se faire en surface, se fait alors tangentiellement, l'origine du crochet appuyant sur un côté de l'orifice d'entrée du puits; l'extrémité terminale du crochet appuyant du côté opposé dans la partie profonde du puits. Ce contact limité et en porte-à-faux est extrêmement traumatisant pour l'os aussi bien pour la compacte que pour la médullaire. Il s'exerce un frottement perpétuel et les forces ne sont plus réparties sur toute la longueur du crochet, mais se condensent en deux points étroits.

On comprend que dans ces conditions se produise au niveau du contact une altération importante de l'os se traduisant au bout de quelque temps par un élargissement de l'orifice, puis par un « foirage » manifeste du crochet.

Les câbles prennent un point d'appui circulaire, également réparti sur toute la périphérie de l'os; aussi les forces sont-elles équilibrées de telle sorte qu'aucune lésion osseuse ne se produit par surcharge fonctionnelle en un point.

Le montage du matériel Cunéo est mécaniquement d'une simplicité très grande, et cela constitue un avantage considérable de ce procédé de synthèse. Il est en effet difficile de commettre une faute mécanique lourde au cours du montage. Il suffit de se servir, pour creuser les puits des crochets de l'agrafe, d'un perforateur calibré offrant strictement le même diamètre que celui de l'agrafe. De plus, il faut s'efforcer de creuser le puits dans une direction sensiblement perpendiculaire à la surface osseuse. De cette façon, les deux puits sont parallèles et l'introduction de l'agrafe est facile. Signalons toutefois qu'en cas d'une erreur dans la direction du puits, il est facile de remédier à cet inconvénient. L'agrafe du professeur Cunéo est, en effet, assez malléable pour permettre une adaptation extemporanée à un puits mal dirigé. De toute façon, le point d'appui se fait en surface sur toute l'étendue du puits et, point important, il n'y a pas d'écrasement osseux au moment du montage.

Il est facile de serrer les câbles correctement. Nous avons vu au cours de nos expériences que les câbles bien appliqués ne produisent qu'un minimum de lésions corticales. Enfin, il faut insister sur un autre avantage de ce système d'ostéosynthèse. S'il se produit une mobilité secondaire du matériel, celui-ci conserve néanmoins une certaine force de

contention. Il est à ce point infiniment supérieur au matériel constitué par la combinaison d'une plaque et des vis ; car nous avons vu qu'en cas de foirage des vis, ce dernier matériel perd toute force de contention.

Le matériel Cunéo possède encore l'avantage précieux de s'adapter facilement à chaque variété de fracture. D'une part, le câble périphérique embrasse toujours l'os quelle que soit sa forme ; d'autre part, le corps de l'agrafe se laisse facilement modeler au cours de l'intervention ; à telle enseigne qu'il est toujours possible d'appliquer le corps de l'agrafe dans toute sa longueur sur sa surface osseuse. Cette particularité rend de très grands services quand il s'agit d'ostéosynthéser une fracture située à proximité d'une épiphyse naturellement évasée.

Un dernier avantage réside dans le fait qu'il est loisible de placer les câbles à distance variable du trait de fracture et de l'extrémité de l'agrafe. Pour une fracture très oblique, il y a avantage à placer les quatre câbles assez près du centre de l'agrafe. Dans ces conditions les câbles forment un véritable cerclage des deux fragments. Dans le cas de fracture transversale, on peut rapprocher les câbles de l'extrémité de l'agrafe. De cette façon, le bras de levier utile est plus long. Le matériel du professeur Cunéo est en somme un matériel à point d'appui réduit. Il est d'un montage mécanique facile. Il s'adapte bien à chaque variété de fracture.

c) *Lames métalliques.* — En cas d'application correcte d'une lame de Parham, son point d'appui se fait en surface par la largeur de la lame, sur la circonférence totale de l'os. Mais, en cas d'effort transmis au foyer de fracture, les fragments ont une tendance à basculer. Alors, la lame ne s'applique plus par toute sa surface sur l'os. Au contraire, tout l'effort se porte sur un bord de la lame. Ainsi, le point d'appui devient linéaire. A ce niveau, la pression unitaire est considérable et risque de provoquer de l'écrasement osseux.

Signalons que la lame circulaire n'offre qu'une résistance réduite aux efforts de torsion. Ces efforts ne sont contrariés que par le frottement de l'os sur la lame. Le montage des lames de Parham est relativement facile. Il faut trouver le degré de tension suffisant pour réaliser une contention parfaite, mais non susceptible de produire l'écrasement osseux.

Les lames de Parham ne peuvent servir que dans une certaine variété de fracture. On ne peut, en effet, les appliquer qu'aux fractures très obliques. Il faut que chaque lame prenne un point d'appui sur chacun des deux fragments. Plus la fracture sera oblique, plus il sera donc aisé

de mettre en place à une distance convenable plusieurs lames de Parham.

d) *Lames et plaque*. — En combinant les lames de Parham avec une attelle métallique, comme celle d'Hallopeau par exemple, on réalise un matériel à point d'appui plus large. Ce procédé permet d'obtenir une immobilité absolue des deux fragments tout en réduisant la tension exercée sur chacune des lames. La plaque joue ici le rôle mécanique de liaison entre les différentes lames. Notons toutefois que la surface utile ne se mesure pas par le volume de la plaque, mais bien par l'étendue de sa surface directement appliquée sur l'os. Il y a donc intérêt à utiliser des plaques se moulant le mieux possible sur la surface osseuse. Ce matériel possède le gros inconvénient d'être formé d'éléments indépendants les uns des autres. Si les lames se desserrent ou deviennent trop lâches par ostéoporose de l'os sous-jacent, tout le système se disloque et perd sa force de contention.

Le montage de ce matériel n'offre rien de particulier. La grande difficulté réside dans la nécessité de se servir d'une plaque qui s'applique étroitement à l'os par toute sa surface.

Signalons que ce matériel permet d'ostéosynthéser des fractures à direction presque transversale. Dans ce cas, chacune des lames est serrée sur un seul des fragments. La contention se fait par l'intermédiaire de l'attelle métallique rigide. Ce procédé découle donc d'un principe mécanique tout différent de celui des lames métalliques isolées. Il ne réalise pas le cerclage de la fracture, mais bien le cerclage de chaque fragment, ces derniers étant maintenus par l'attelle métallique.

e) *Manchon métallique de Contremoulins*. — Ce procédé prend un point d'appui sur une très large surface. Quand le manchon est correctement appliqué, il épouse la forme de l'os de très près, et toute sa surface est en contact intime avec la lame compacte. La pression est répartie sur une large étendue. Il en résulte que la pression unitaire est minime. Avec ce procédé, on peut réaliser une immobilité absolue des fragments et du matériel en exerçant une traction peu violente sur chacune des pattes de serrage. Quand le foyer de fracture est soumis à un effort d'inflexion, la pression augmente sur les bords du manchon. En cas de montage imparfait du manchon, il en résulte à ce niveau un effort de cisaillement. Dans les cas extrêmes, le point d'appui devient linéaire, localisé au bord du manchon, et la pression unitaire est considérable.

Signalons que la résistance au mouvement de torsion est due au frottement de l'os sur toute la surface du manchon.

Le montage du manchon de Contremoulins est mécaniquement facile. Il faut se rappeler que le manchon doit être appliqué dans toute sa surface. Ce n'est pas par son volume que le matériel réalise la contention des fragments, mais seulement par sa surface d'appui véritable.

Un manchon serré correctement donne une immobilité des deux fragments. En même temps, la pression exercée sur une unité de surface est relativement minime.

Le manchonnage de Contremoulins est un procédé qui s'applique aisément à toutes les variétés de fracture. Suivant la direction du trait de fracture, on emploie un manchon plus ou moins large. Pour une fracture transversale, le manchon doit être beaucoup plus large que pour une fracture oblique.

Le matériel de Contremoulins est d'une grande souplesse, il s'adapte à toutes les irrégularités que présente la surface osseuse. De plus, on l'applique avec facilité à proximité d'une épiphyse. Malgré le diamètre de l'épiphyse, généralement plus considérable que celui de la diaphyse, le manchon s'applique correctement dans toute son étendue. Il prend une forme en cornet et s'évase au niveau de l'épiphyse plus volumineuse.

III. — Réactions biologiques de l'os au niveau des points d'appui du matériel.

L'os étant une matière vivante, en état de transformation incessante, réagit aux pressions subies suivant des lois mécaniques et par des modifications biologiques parfois profondes.

Nous avons vu qu'au niveau des points d'appui du matériel de synthèse, l'os subit dans certains cas des pressions considérables. Cette pression est inversement proportionnelle à la surface d'appui. C'est dire que la pression unitaire est d'autant plus grande que le point d'appui est plus réduit.

Si la pression unitaire dépasse la limite élastique de l'os, le matériel produit aux points de pression un véritable enfoncement de l'os. Cet effet mécanique entraîne des modifications biologiques. Les lamelles osseuses écrasées évoluent vers la nécrose, puis elles sont résorbées progressivement. La raréfaction osseuse peut s'étendre à distance du matériel. Radiographiquement on constate parfois de larges zones d'ostéoporose. Ainsi se trouve réalisé un nouveau facteur mécanique :

la mobilité secondaire du matériel. A ce moment entre en jeu un double processus. Le matériel métallique devenu mobile traumatise l'os par ébranlements successifs. Il déclenche une réaction inflammatoire amicrobienne qui, dans les cas extrêmes, va jusqu'à la suppuration franche avec élimination du matériel et nécrose de l'os. D'autres fois, la réaction inflammatoire reste à la limite de la suppuration. Cela suffit néanmoins à empêcher la consolidation de la fracture ostéosynthésée. D'ailleurs Leriche et Policard ont montré qu'on ne constate jamais d'ossification en présence d'un certain pourcentage de polynucléaires. Ce fait explique un grand nombre de non-consolidations de fractures après ostéosynthèse.

La mobilité secondaire du matériel et des fragments donne encore lieu à une autre réaction biologique que nous avons observée à plusieurs reprises au cours de nos expériences. Au niveau du foyer de fracture se forment des dépôts irréguliers de sels de chaux. L'organisme fait une « mutation calcique locale » et met à la disposition du foyer de fracture le matériel nécessaire à la consolidation. Mais le tissu conjonctif qui s'est développé entre les deux fragments osseux n'évolue pas vers la différenciation osseuse. Il forme du tissu fibreux, du tissu ostéoïde ou cartilagineux. Il crée en somme du tissu conjonctif de pression et de glissement. Il semble bien que la mobilité des fragments, jointe à la présence irritante du matériel mobile, empêche le tissu conjonctif d'évoluer vers l'ossification. Il s'adapte à la mobilité et reste fibreux ou cartilagineux.

C'est là un fait intéressant, car il explique des constatations cliniques. On peut observer en effet après une ostéosynthèse la formation d'un cal mou; la fracture ne consolide pas. Dans ces cas, il suffit parfois d'enlever secondairement le matériel de synthèse pour assister à une véritable cristallisation du cal. En 15 jours le cal est ossifié. Tout se passe comme si le foyer de fracture, débarrassé de la présence irritante du matériel mobile, devenait brusquement apte à utiliser les dépôts calciques mis à sa disposition.

Nous pouvons illustrer l'influence de la mobilité quant à la formation du tissu ostéoïde cartilagineux par la figure que nous reproduisons (figure 54). Elle représente à un fort grossissement une partie de la coupe transversale reproduite planche 54. On voit la surface d'insertion du cal périphérique sur la lame compacte. Au point précis auquel le cal se recourbe sur le bord du manchon, on constate une zone ostéoïde très nette. Or c'est exactement à cet endroit que se traduisent principalement les efforts de cisaillement du manchon. Par contre, on remarque

sur la face externe du manchon, qui est la face inerte, des néoformations osseuses abondantes.

Nous avons schématisé le plus que nous avons pu les réactions biologiques de l'os. En réalité il s'agit là de phénomènes complexes qui s'intriquent souvent, ce qui rend leur étude encore plus difficile. Nous nous sommes surtout efforcé de mettre en évidence les relations directes qui existent entre l'action mécanique sur l'os et les réactions biologiques de ce tissu.

B. — CONCLUSIONS PRATIQUES

Nous pouvons résumer la discussion qui précède de la façon suivante :

L'os réagit aux pressions mécaniques par un processus biologique plus ou moins marqué. On ne peut considérer l'os comme une matière résistante et stable, capable de fournir au matériel de synthèse un point d'appui définitif.

L'ostéosynthèse constitue un problème à la fois mécanique et biologique. Il semble néanmoins que le facteur mécanique soit le plus important, car il tient sous sa dépendance directe la réaction biologique de l'os.

Le matériel d'otéosynthèse peut être considéré suivant trois points de vue :

- 1° l'étendue de son point d'appui ;
- 2° la facilité plus ou moins grande de son montage ;
- 3° son volume.

1. Plus large est le point d'appui, plus faible est la pression unitaire. Quand la pression unitaire dépasse la limite élastique de l'os, il se produit de l'écrasement suivi de nécrose osseuse avec raréfaction secondaire. Le matériel devient mobile.

2. Un montage mécaniquement correct du matériel d'ostéosynthèse est obligatoire. On peut donc considérer comme mauvais les procédés qui nécessitent une habileté manuelle toute particulière pour réaliser l'application parfaite du matériel. Si le montage mécanique est défectueux, le matériel provoque des réactions biologiques intenses. Il est mal toléré.

3. En cas d'intolérance au matériel, la réaction biologique est d'autant plus marquée que le volume du matériel est plus considérable. Aussi un procédé d'otéosynthèse employant un matériel réduit risque-t-il moins de provoquer des troubles graves qu'un procédé à matériel volumineux.

Ces considérations permettent une conclusion essentielle :

La pression unitaire ne doit jamais dépasser la résistance élastique de l'os.

On peut parvenir à ce but de deux façons : soit en élargissant le point d'appui, soit en diminuant les forces en jeu.

Dans le premier cas, il faut employer un matériel volumineux à large surface d'appui; dans le deuxième cas on peut se servir d'un matériel restreint, mais il faut réduire la pression unitaire par l'adjonction d'une force extérieure de sens contraire, représentée par un appareil de contention ou d'extension.

Les deux tendances sont représentées dans la chirurgie actuelle. Nous verrons plus loin les avantages et les inconvénients de chacun de ces procédés. Remarquons simplement, dès à présent, que les deux types les plus représentatifs de ces tendances sont : d'une part, l'agrafe et les câbles de Cunéo, qui représentent le matériel le plus réduit; d'autre part, le manchon de Contremoulins qui est le matériel le plus volumineux.

E. — APPLICATION A LA CHIRURGIE HUMAINE

Ainsi que toutes les acquisitions nouvelles de la chirurgie, l'ostéosynthèse a trouvé à ses débuts, auprès de la majorité des chirurgiens un accueil enthousiaste. On fut d'abord tenté d'appliquer le traitement sanglant aux fractures qui, par le traitement habituel, donnaient des résultats défavorables ou médiocres. Mais rapidement, on s'est rendu compte des échecs fréquents et des dangers possibles de cette thérapeutique. De nombreux auteurs ont, en effet, apporté des observations montrant la gravité des ostéosynthèses ayant échoué. Même dans les cas d'intervention parfaite et avec des suites opératoires absolument aseptiques, ils eurent à déplorer soit des phénomènes inflammatoires compromettant grandement le résultat, soit des troubles de consolidation (lenteur ou absence de réunion des fragments), soit des troubles douloureux nécessitant secondairement l'ablation du matériel métallique. Il suffit de citer pour exemple les nombreuses discussions soulevées à la Société de Chirurgie de Paris par cette question, qui fut du reste mise à l'ordre du jour pendant l'année 1926.

Devant la fréquence et le polymorphisme des troubles observés après l'ostéosynthèse, il était utile de vérifier expérimentalement si ces données cliniques avaient un substratum anatomique. C'est ce que nous avons cherché à faire dans ce travail. Nous efforçant de transposer chez l'homme, dans la mesure où le permettent les lois biologiques, les observations que nous avons faites chez l'animal, nous avons tâché par notre contribution d'expliquer les troubles pouvant résulter d'une ostéosynthèse même parfaitement exécutée et complètement aseptique.

Nous sommes arrivé, ainsi que nous l'avons montré au cours de ce travail, à des conclusions expérimentales qui semblent répondre assez exactement à ce qui est observé dans la pratique de l'ostéosynthèse chez l'homme.

Les lésions constatées après les ostéosynthèses sont variables dans

leur aspect clinique (simple réaction histologique, ostéoporose radiographiquement décelable, intolérance qui peut être immédiate ou secondaire). Qu'elle qu'en soit la traduction clinique, ces lésions sont toujours les mêmes en ce qui concerne leur évolution anatomique et leurs conséquences biologiques : réaction raréfiante de l'os au voisinage du matériel métallique introduit.

Sous l'influence de quels facteurs, tel ou tel appareillage donne-t-il plus de lésions et est-il moins bien toléré qu'un autre ? Les facteurs sont multiples, mais peuvent être groupés sous trois chefs essentiels :

Il y a des facteurs inhérents au type du matériel employé. A ce point de vue, la surface recouverte, l'importance plus ou moins grande de la pénétration intra-osseuse, et surtout le degré de pression unitaire font qu'un matériel est plus ou moins bien toléré.

Il est des facteurs qui tiennent à la façon dont le matériel est posé, réalisant une fixation plus ou moins bonne du matériel sur les fragments, et des fragments l'un par rapport à l'autre.

Il est enfin des facteurs qui résultent de la qualité de coaptation post-opératoire des surfaces osseuses : nous savons qu'une immobilisation absolue est de rigueur ; elle peut résulter soit de l'appareillage lui-même, soit d'un système de fixation mixte.

Ces conditions préliminaires établies, quels sont les procédés d'ostéosynthèse qui réunissent le plus grand nombre de facteurs favorables ?

Ce sont les prothèses qui immobilisent les fragments osseux de la façon la plus parfaite et qui en même temps traumatisent l'os au minimum. Cette ostéosynthèse idéale constitue le but que se proposent tous les procédés ; ils tentent de le réaliser par des moyens différents.

Certains matériels réalisent un appareillage solide, mécaniquement satisfaisant ; ils assurent une fixité complète et suffisante des extrémités osseuses : le type en est l'appareil de Contremoulins. Les autres constituent un appareillage assurant une coaptation immédiate de bonne qualité, mais sont mécaniquement insuffisants ; il faut adapter sur le membre un système de fixation extérieure ; un des types de ce matériel est l'agrafe de Cunéo.

L'utilisation de l'appareil de Contremoulins présente des avantages qui peuvent se résumer ainsi : une fixité absolue dans la coaptation des fragments osseux capable de résister aux forces extérieures ; une pression unitaire du manchon sur l'os qui reste modérée et n'entraîne pas de troubles importants de compression ; une application facile, une solidité telle que toute immobilisation extérieure est inutile ; la liberté complète

dans le jeu des articulations sus et sous-jacentes. La résultante de tous ces avantages est la possibilité d'une reprise fonctionnelle rapide du membre.

Il faut cependant connaître les inconvénients de cette méthode : elle nécessite une désinsertion musculaire étendue augmentant le traumatisme opératoire. Même lorsque l'application a été parfaite et que le résultat fonctionnel est satisfaisant, le manchon constitue par sa présence permanente un corps étranger très volumineux. On a pu penser qu'il pourrait réaliser un appel d'infection secondaire. Nous ne pouvons formuler à ce sujet d'opinion fixe, car la méthode a un passé récent et l'épreuve du temps est encore à faire. Enfin, lorsque l'application a été défectueuse, par serrage insuffisant ou excessif, il en résulte une mobilité primitive ou secondaire qui entraîne des troubles d'autant plus graves que le matériel est plus volumineux.

A ce procédé s'opposent tous les autres procédés habituellement employés. Ceux-ci peuvent réaliser une coaptation parfaite des fragments, mais ils sont mécaniquement insuffisants. Il faut leur adjoindre une force de contention extérieure, plâtre ou appareil à extension.

L'ostéosynthèse réalisée au moment de l'opération doit garder une immobilité absolue sous peine des accidents les plus graves portant soit sur le matériel, soit sur le foyer de fracture lui-même. Seule une application immédiate d'un appareillage externe qui fige le membre dans la position qu'on lui a donnée en fin d'opération est susceptible de mettre l'ostéosynthèse dans les conditions nécessaires à sa réussite. Au contraire, toute mobilisation, si minime soit-elle, amènera des troubles. Nous répétons qu'il ne faut en aucune manière se fier à la résistance d'un matériel de ce type. Même lorsque l'appareillage a été parfaitement appliqué, lorsqu'il tient très solidement dans l'os, lorsque en fin d'opération on a constaté la solidarité absolue des deux fragments il faut éviter tout incident qui risque de faire porter sur le matériel d'ostéosynthèse des forces supérieures à celles qu'il peut supporter. C'est ainsi qu'en immobilisant le membre dans un appareil provisoire (attelle et bandage) en vue de faciliter le changement du pansement dans les jours qui suivent l'opération, on risque les plus graves ennuis. Même si on a soin de faire immobiliser le membre par un aide, il peut se produire au cours de l'enlèvement des attelles et de la mise en place d'un nouvel appareil de fixation externe des mouvements qui paraissent minimes. Ces mouvements peuvent ne pas porter directement sur le foyer de fracture, ils n'en sont pas moins graves. Quand, par un défaut de position, le membre se trouve en porte-à-faux si peu que ce soit, il se produit un

déséquilibre qui, par le jeu du système de levier, réalise, au niveau du foyer de fracture, des pressions considérables. En général, l'appareillage résiste. Mais l'os est légèrement dévié ; le matériel ne porte plus par toute sa surface sur la superficie de l'os. La pression est brusquement augmentée au niveau d'un des bords. Cette augmentation brutale de la pression unitaire détermine l'écrasement des lamelles osseuses sous-jacentes, origine des altérations osseuses sur laquelle nous avons longuement insisté. Nous avons vu également par quel processus ces lésions osseuses entraînent secondairement des phénomènes de raréfaction qui sont le point de départ d'une mobilité secondaire du matériel. D'autres fois, mais l'éventualité est plus rare, le déplacement des forces est tel que le matériel cède. La coaptation est ainsi d'emblée supprimée et l'échec immédiat. Il ne faut pas croire que pour exercer de tels ravages, les mouvements réalisés doivent avoir une grande amplitude. Il suffit d'un petit mouvement transmis par un long bras de levier pour déterminer une augmentation considérable de la pression unitaire. Si les lésions ne sont pas immédiatement apparentes, l'écrasement des lamelles osseuses microscopiques suffit néanmoins à compromettre le pronostic fonctionnel de l'ostéosynthèse.

En dehors des forces transmises au foyer de fracture par un mouvement intempestif imprimé au membre opéré, il faut considérer les forces provenant du jeu physiologique normal du membre. Elles sont représentées par la contraction musculaire. Les contractions musculaires disparaissent complètement pendant l'anesthésie lorsque la résolution est bonne. Il ne persiste que la tension élastique normale des muscles. C'est grâce à ce fait que le chirurgien arrive à placer les fragments l'un en face de l'autre sans grosses difficultés. L'appareillage fixé en état de repos musculaire donne une impression de solidité quand on éprouve la solidarité des deux fragments. Mais il faut compter avec la réapparition du tonus musculaire et malheureusement cette réapparition ne se fait pas d'une façon progressive. Il se produit au cours du réveil de l'anesthésie générale des contractions violentes, soit involontaires, soit même volontaires pendant la période de réveil incomplet. C'est au cours de ces contractions brusques que l'appareil d'ostéosynthèse est soumis à des tractions brutales qui peuvent en compromettre la stabilité. A tel point que l'appareillage destiné à faire face à des efforts musculaires modérés devient nettement insuffisant sous l'effet des contractions brutales qui changent subitement les pressions auxquelles l'appareil est soumis.

C'est pour ces raisons qu'il faut recommander certaines précautions

de fixation du foyer de fracture. Pour ce qui est de l'anesthésie, il nous semble que l'anesthésie rachidienne est préférable à l'anesthésie générale : elle assure une résolution musculaire aussi complète et surtout plus régulière. Après l'opération, la récupération de la fonction musculaire se fait sans à-coup. Le malade est en pleine connaissance, de telle sorte qu'on peut lui faire comprendre la nécessité absolue d'éviter le moindre mouvement et même toute contraction musculaire alors que le membre est sous un appareil plâtré.

En ce qui concerne l'appareil d'immobilisation extérieure, nous croyons que l'emploi d'un système provisoire peut être la source de gros déboires. Il faut assurer d'emblée une immobilisation définitive. Il y a intérêt à appliquer sur le membre opéré un plâtre avant même de relâcher l'extension qui a été réalisée au cours de l'intervention pour faciliter la réduction de la fracture. On immobilise ainsi le foyer de fracture dans un équilibre de forces correspondant exactement à celui qui existait au moment de l'application du matériel. De cette façon, on réalise par l'appareil plâtré une véritable extension figée qui met la synthèse à l'abri d'un changement de forces.

Les appareils à extension continue nous semblent moins favorables que le plâtre, car dans le court intervalle qui existe entre la fin de l'opération et la mise en place d'un appareil à extension au lit du malade, il peut se produire au cours du transport et des manipulations nécessaires des secousses compromettant gravement la solidité immédiate ou secondaire de l'ostéosynthèse.

De plus, la force des appareils à extension continue varie souvent d'un jour à l'autre. Ils nécessitent une surveillance attentive. On doit éviter autant que possible les variations brusques de la traction.

Signalons d'ailleurs que le tonus musculaire diminue progressivement. Afin de conserver constamment le foyer de fracture dans un équilibre de forces il sera utile de diminuer progressivement, mais d'une façon prudente, la traction exercée.

Nous voyons, en somme, que les soins post-opératoires ont une importance capitale. La non-tolérance du matériel n'est souvent due qu'à un défaut d'immobilisation, en apparence minime.

Nous pouvons signaler dès à présent quelques avantages communs à tous ces procédés. Ils utilisent en général un matériel d'un volume restreint. Ceci a le gros avantage de diminuer le traumatisme opératoire. De plus, quand l'ablation du matériel devient nécessaire du fait d'une mobilité secondaire, ou de toute autre circonstance, on la réalise facilement grâce à l'exiguïté du matériel.

Il nous faut à présent étudier séparément chacun de ces procédés : les lames métalliques, les fils, les plaques fixées par des vis ou par des lames, les agrafes et câbles.

LAMES MÉTALLIQUES.

Nous avons vu que les lames de Parham réalisent difficilement la contention et l'immobilisation parfaite des fragments. Il ne suffit pas de serrer la lame plus fortement pour obtenir une fixité plus grande. On risque, ce faisant, de provoquer la nécrose de toute la partie de l'os située sous la lame. Le cerclage par lame de Parham n'est applicable qu'aux fractures très obliques. Comme il persiste en général un certain degré de mobilité des fragments, toutes les forces, agissant sur le foyer de fracture, provoquent un mouvement de bascule des fragments. Ceux-ci viennent alors s'écraser sur un des bords de la lame. En somme, ce matériel donne une fixité insuffisante. La solidité est médiocre. L'emploi de ce procédé expose à des échecs.

LES FILS MÉTALLIQUES.

Au cours de nos expériences personnelles, nous n'avons utilisé comme fils métalliques que les câbles de Cunéo. Ce sont particulièrement les chirurgiens allemands qui préconisent un tel procédé. Il nous semble que cette méthode ne réalise qu'une force de contention insuffisante. Rappelons que certains auteurs ont eu recours au cerclage par un fil métallique soudé en anneau. Ce procédé est à rejeter à cause des altérations osseuses produites par la chaleur au moment de la soudure.

PLAQUE ET LAMES.

Nous avons déjà indiqué dans un chapitre précédent que dans l'association d'une plaque et de lames métalliques, la plaque ne joue que le rôle de liaison entre les différentes lames. Elle répartit sur une plus grande surface les efforts subis. Elle donne une solidité plus grande au matériel de prothèse. Mais malgré cela l'immobilité absolue des fragments est difficilement réalisée. De plus, les deux éléments constituant le matériel, lame et plaques, sont indépendants l'un de l'autre. En cas de

mobilité secondaire, tout le système de contention se disloque et perd son efficacité. C'est le reproche essentiel que l'on peut adresser à ce matériel. Il explique des échecs fréquents.

PLAQUE ET VIS.

Ce procédé donne d'excellents résultats entre les mains de certains chirurgiens. Il faut insister sur le fait que son emploi nécessite une habileté toute particulière. Nous avons vu qu'une erreur minime dans le taraudage ou le vissage suffit à compromettre la solidité de la synthèse. Le point d'appui utile n'est représenté que par les filets des vis. La pression unitaire est considérable. Le moindre défaut d'immobilisation post-opératoire peut provoquer l'écrasement des lamelles osseuses dans le puits des vis. Il en résulte une mobilité secondaire des vis et de ce fait le matériel de synthèse perd toute force de contention. En somme, malgré sa simplicité apparente, ce procédé est d'une application difficile et délicate. Il expose à des déboires. Quoique certains chirurgiens obtiennent par lui d'excellents résultats, nous ne croyons pas qu'on puisse le considérer comme une bonne méthode d'ostéosynthèse.

AGRAFE ET CABLES.

Cette association constitue l'appareillage préconisé par le Professeur Cunéo. Nous avons déjà longuement insisté sur les avantages nombreux qu'il présente. Rappelons ici que ce procédé réalise la contention la plus efficace parmi tous les procédés utilisant un matériel de petit volume. Il est nécessaire de fixer, autant que faire se peut, les deux agrafes sur les deux faces opposées de l'os. Elles forment ainsi deux attelles longitudinales à effet combiné. Les crochets constituent un point d'appui très solide. Le système en croix réalisé par le corps de l'agrafe et par les câbles circulaires forme un ensemble stable. Même en cas de mobilité secondaire légère des fragments, l'appareillage tient encore en place et maintient les fragments. Signalons de plus qu'il est facile de réaliser le montage mécanique du matériel Cunéo. Au cours de l'intervention on traumatise peu les tissus. Enfin, l'ablation secondaire du matériel est aisée et ne compromet en rien la solidité de la fracture consolidée.

En résumé, nous voyons que de tous les procédés employés en chirurgie humaine, deux procédés semblent particulièrement indiqués, ce sont : le procédé de Cunéo et le manchonnage de Contremoulins.

Le procédé de Cunéo constitue une ostéosynthèse temporaire, mécaniquement insuffisante, à immobilisation mixte. En pratique, son application correcte donne d'excellents résultats.

Le manchonnage de Contremoulins représente une prothèse définitive, mécaniquement parfaite.

Ces deux procédés découlent donc d'un principe absolument différent. Dans le procédé de Cunéo, l'appareillage est destiné à réaliser la coaptation des fragments. L'immobilisation est réalisée par un appareil plâtré, exactement comme dans le cas d'une fracture non ostéosynthésée. Au contraire, le manchonnage de Contremoulins représente une reconstitution fonctionnelle immédiate de l'os fracturé. Le manchon se substitue pour ainsi dire à la diaphyse rompue. Aucune immobilisation n'est nécessaire. Signalons néanmoins que M. Contremoulins n'autorise la reprise fonctionnelle complète du membre qu'après un temps plus ou moins long. Il considère que la solidité est suffisante dès qu'apparaissent radiographiquement les premiers signes d'ossification du cal périphérique.

Peut-on employer en pratique indistinctement un de ces procédés à la place de l'autre, ou faut-il renoncer à l'un des deux procédés en faveur de l'autre? Il nous semble que chacun d'eux offrant des avantages particuliers doit être préféré à l'autre suivant la variété de la fracture qu'il s'agit de traiter.

Quand on veut ostéosynthéser une fracture qui ne nécessite pas un appareillage d'une solidité à toute épreuve; quand l'immobilisation par un appareil extérieur est facilement réalisable, nous préférons le matériel de Cunéo. Il est peu traumatisant. Il est facile à mettre en place. Enfin, il offre le grand avantage d'une ablation aisée en cas de nécessité.

Par contre, le procédé de Contremoulins nous semble indiqué dans les variétés de fractures qui sont soumises à des forces considérables.

Nous pensons en particulier aux fractures de la diaphyse fémorale. Dans ce cas, la contraction musculaire agit sur le foyer de fracture avec une intensité remarquable. Les deux fragments attirés par des groupes musculaires différents ont une tendance naturelle à former une crosse à convexité externe. Si on met le membre en abduction dans le prolongement du fragment supérieur, les muscles adducteurs agissent avec un maximum de force sur le fragment inférieur. L'immobilisation dans un appareil plâtré ou l'extension ne peuvent prévenir cet effet. De toute façon, le foyer de fracture est soumis à une tension permanente. Il faut donc avoir recours à un matériel capable de résister aux efforts musculaires. Les procédés habituels sont insuffisants. Par contre, on obtient d'excellents résultats avec le manchonnage. Il semble que dans ce cas

le procédé de Contremoulins constitue un progrès très intéressant dans le traitement sanglant des fractures.

Au cours de ce travail, nous avons à maintes reprises insisté sur les lésions considérables que peut provoquer une ostéosynthèse mal exécutée. Nous nous sommes efforcé d'indiquer les principes généraux qui régissent l'ostéosynthèse. Notre contribution aura peut-être servi à éclaircir pour une petite part le problème si complexe de cette intervention.

Nous avons l'impression très nette que l'ostéosynthèse ne constitue pas le traitement de choix de toutes les fractures. Sans tenir compte du danger d'infection qui réside dans le fait de transformer en fracture ouverte une fracture fermée, nous estimons que l'ostéosynthèse expose à des risques inévitables.

De plus, il faut remarquer qu'une ostéosynthèse exécutée de façon correcte, dans des conditions d'asepsie rigoureuse, satisfaisant aux exigences mécaniques et biologiques du problème, est suivie parfois d'un résultat fonctionnel médiocre en désaccord absolu avec la guérison anatomique parfaite de la fracture. C'est là un fait d'observation clinique qu'il est impossible d'expliquer actuellement. A l'opposé, on voit fréquemment des fractures traitées par la méthode non-sanglante, et pour lesquelles on a obtenu une réduction anatomique manifestement insuffisante, donner cependant un résultat fonctionnel très acceptable. C'est un fait d'apparence paradoxale : l'ostéosynthèse réalise une réduction anatomique parfaite et donne néanmoins un résultat fonctionnel parfois médiocre. Le traitement non-sanglant ne réalise souvent que d'une façon imparfaite le bout-à-bout des fragments; malgré cela il donne de bons résultats fonctionnels.

Aussi chaque fois qu'on peut obtenir par le traitement non-sanglant la consolidation d'une fracture en conservant l'axe du membre, il faut repousser les méthodes sanglantes. Nous estimons que l'ostéosynthèse doit être réservée strictement aux fractures qu'il est impossible de guérir par le traitement non-sanglant.

CONCLUSIONS

I. — Dans toute ostéosynthèse il existe des lésions histologiques de l'os qui sont indépendantes de la nature du matériel métallique utilisé.

II. — Ces constatations ont été faites par nous dans deux séries d'expériences :

a) Fixation sur le fémur d'un chien d'un matériel métallique d'ostéosynthèse sans fracture préalable ;

b) Application du même matériel après fracture expérimentale.

III. — Les phénomènes d'intolérance sont dus à deux causes :

a) La pression exercée sur l'os quand celle-ci dépasse par unité de surface la limite élastique de l'os ;

b) La mobilité primitive au secondaire du matériel métallique et des fragments.

IV. — Parmi tous les procédés, ceux qui provoquent les lésions les moins marquées sont :

Celui du manchon métallique de Contremoulins ;

Celui des agrafes et câbles du Professeur Cunéo.

V. — Ces deux procédés découlent d'un principe différent :

Le manchon de Contremoulins assure une immobilité absolue. Il constitue une prothèse définitive, mécaniquement suffisante. Le matériel employé par M. Cunéo, supérieur à tous points de vue au procédé habituel des vis, a pour but de réduire au minimum l'action du matériel

sur les phénomènes biologiques qui président à la réparation de la fracture. Il réalise une immobilité relative et nécessite l'adjonction d'un appareil d'immobilisation.

Les deux procédés ont des indications différentes.

VI. — L'ostéosynthèse, tout en utilisant le procédé le moins traumatisant pour l'os, ne constitue pas un traitement absolument inoffensif. Ses indications doivent être réservées aux cas où la fracture ne peut strictement être traitée sans intervention.

Vu

Le Doyen,

H. ROGER.

Vu :

Le Président de thèse,

BERNARD CUNÉO.

Vu et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

S. CHARLÉTY.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

Nous n'avons pas la prétention d'apporter ici la bibliographie complète de la question. L'ostéosynthèse a été l'objet de travaux très nombreux, tant en France qu'à l'étranger. Les recherches sur les greffes osseuses et sur la physiologie normale ou pathologique de l'os méritent également d'être prises en considération.

Nous avons été obligé de limiter les indications bibliographiques. Nous ne citons que les travaux essentiels qui nous ont été particulièrement utiles.

AUTEURS FRANÇAIS

- AGLAVE. — Rapport au XXIV^e Congrès français de Chirurgie sur « le traitement sanglant des fractures fermées ».
- AGLAVE. — L'ostéosynthèse par les agents métalliques dans le traitement des fractures et pseudarthroses. *Soc. Chir., Paris, 1920.*
- AGLAVE et GÉNIN. — Procédé de ligature osseuse par fil couplé. *Soc. Chir., 7 avril 1926.*
- BARBET. — De l'usage des greffes osseuses dans la cure des pseudarthroses diaphysaires. *Thèse de Paris, 1913.*
- BLANCHARD. — Les abus de l'ostéosynthèse. *Pr. Méd., 1924.*
- BLOCH (J.-Ch.). — Quelques réflexions concernant le traitement des fractures. *Gaz. Méd. de France, 1929.*
- BLOCH (J.-Ch.). — Mémoire sur le traitement des fractures diaphysaires par l'ostéosynthèse. *Méd. d'Or des Hôp. de Paris, 1921.*
- BOCCA. — De la fixation métallique temporaire dans les fractures compliquées et infectées. *Thèse de Lyon, 1916.*
- CHARBONNEL. — Mon expérience personnelle de l'ostéosynthèse et de l'ostéoplasie. *Journ. de Chir., 1926.*
- CHARBONNEL et MASSE. — Résultats comparés des méthodes externes et de l'ostéosynthèse dans le traitement des fractures de jambe. *XIII^e Congrès de Méd. légale, 9-11 octobre 1928.*

- CONTREMOULINS. — *Communication à l'Académie des Sciences*, 18 mai 1925.
- CORNIL et COUDRAY. — Du cal du point de vue expérimental et histologique. *Journ. Anat. Physiol.*, 1904, t. CXL.
- CRETIN. — Études sur la calcification normale. Le métabolisme du calcium. Les phénomènes minéraux de la réparation des os fracturés. *Soc. des Hôp.*, 1924.
- CRETIN. — Les phases de l'imprégnation calcaire dans le tissu osseux. *Bull. Histol. Appl.*, 1924.
- CUNÉO. — Sur l'emploi des greffes osseuses dans le traitement des pseudarthroses. *Bull. Soc. Chir.*, Paris, 1918.
- CUNÉO et ROUVILLOIS. — Résultats actuels des greffes osseuses. *Rapport au XXXI^e Congrès Franç. de Chir.*, 1922.
- CUNÉO (B.). — De l'ostéosynthèse en général. *Bull. Méd.*, 1924.
- DELBET. — Les greffes osseuses. *Soc. de Chir.*, Paris, 1912.
- DOISY. — De la prothèse interne au moyen de plaques d'aluminium dans le traitement des pseudarthroses. *Thèse de Lille*, 1894.
- DUJARIER. — Les indications de l'ostéosynthèse dans les fractures diaphysaires récentes. *Journ. Méd. Franç.*, 1922.
- DUJARIER. — Sur l'ostéosynthèse. *Soc. de Chir.*, Paris, 1924.
- DUJARIER et IMBERT. — Traitement des fractures par l'ostéosynthèse. *Congrès Franç. de Chir.*, 1924.
- DUPUY DE FRÉNELLE. — Indications et contre-indications à l'ostéosynthèse. *Paris Chirurgical*, 1925.
- DUVAL (P.). — Traitement chirurgical des fractures. *C. R. conf. chir. interall. pour l'étude des plaies de guerre*. Paris, 1918.
- ESTOR. — Traitement des pseudarthroses par le cerclage et la ligature au fil de fer. *Bull. Acad. Méd.*, Paris, 1918.
- FRÉDET. — Traitement des fractures graves suivant la technique de Lambotte d'après une expérience personnelle de 20 cas. *Soc. de Chir.*, Paris, 1915.
- FRÉDET (P.). — Série intégrale d'ostéosynthèse humérale pour fractures fermées exécutées depuis 1911 avec leurs résultats él. *Journ. de Chir.*, 1924.
- FRÉDET. — A propos de l'ostéosynthèse. *Soc. de Chir.*, Paris, 1924.
- DE GAULEJAC et NATHAN. — L'élément fertile du parenchyme diaphysaire. Son rôle dans la restauration osseuse. *Rev. de Chir.*, 1919.
- GÉNIN. — Traitement sanglant des fractures fermées de jambe. *Thèse de Paris*, 1926.
- GENTIL et BONNEAU. — Correction de l'angulation des fractures par l'action d'un fil métallique. *Arch. Franco-Belges de Chir.*, 1925.
- KARL GLAESSNER et HASS (J.). — Moyen d'activer la formation du cal dans les fractures osseuses. *Pr. Méd.*, 1929.
- GRIMAULT. — Les résultats éloignés de l'ostéosynthèse. *Arch. Franco-Belges de Chir.*, 1924.
- HALLOPEAU. — Les lames métalliques dans les fractures. *Soc. de Chir.*, 1920.

- HAOUR. — Données actuelles sur la régénération osseuse aseptique chez l'adulte. *Thèse de Lyon*, 1919.
- HEITZ-BOYER. — Quelques précisions sur la chirurgie sous-périostée et le mécanisme de l'ostéogénèse. *Bull. et Mém. Soc. Chir.*, Paris, 1919.
- IMBERT. — Sur la greffe osseuse. *Pr. Méd.*, 8 mars 1917; *Pr. Méd.*, 9 mai 1918.
- LANNELONGUE. — Recherches expérimentales sur la greffe d'un os mort dans un os vivant. Résorption des séquestres. *Soc. Biol.*, 1882.
- LARGET. — L'ostéosynthèse dans les fractures fermées. Étude des résultats éloignées de 80 cas. *Bull. Méd.*, 1924.
- LEMERLE. — Contribution à l'étude expérimentale de la prothèse interne. *Thèse de Paris*, 1907.
- LERICHE et POLICARD. — Quelques précisions sur la chirurgie sous-périostée et sur le mécanisme de l'ostéogénèse réparatrice. *Soc. de Chir.*, 1918.
- LERICHE et POLICARD. — A propos des ostéoblastes. Leur comportement dans la formation de l'os périostique au cours de la régén. osseuse chez l'homme. *C. R. Soc. de Biol.*, 1918.
- LERICHE et POLICARD. — Rôle joué par les corps étrangers microscopiques dans la genèse des pseudarthroses après fracture de guerre. *C. R. Soc. de Biol.*, 1918.
- LERICHE et POLICARD. — Le périoste et son rôle dans la formation de l'os. *Pr. Méd.*, 1918.
- LERICHE et POLICARD. — Mécanisme histologique de la formation de l'os. *Pr. Méd.*, 1918.
- LERICHE et HAOUR. — Recherche expérim. sur la régénération des diaphyses chez le lapin. *Soc. de Chir. de Lyon*, 1923.
- LERICHE et POLICARD. — Notions générales sur les néoformations cartilagineuses pathologiques. *Pr. Méd.*, 1925.
- LERICHE et POLICARD. — *Les problèmes de la physiologie normale et pathologique de l'os*. 1 vol., édit. Masson. Paris, 1926.
- LERICHE. — Application à la pathologie et à la thérapie des lois de l'ossification. *Bruxelles Méd.*, 1928.
- LERICHE et POLICARD. — Compréhension de la pathologie osseuse. *Pr. Méd.*, 1928.
- LERICHE et POLICARD. — Mécanisme et rôle pathogénique de la raréfaction osseuse précoce dans la genèse des pseudarthroses. *C. R. Acad. des Sciences*, 9 septembre 1928.
- MILLET. — Contribution histopathologique à l'étude des prothèses osseuses. L'action des plaques métalliques sur les tissus. *Thèse de Lyon*, 1919.
- MOUCHET. — Il ne faut pas abuser de l'ostéosynthèse. *Pr. Méd.*, 1922.
- NAGEOTTE. — Ostéogénèse dans les greffes d'os mort. *C. R. Ac. Sciences*, 1920.
- NAGEOTTE. — *L'organisation de la matière dans ses rapports avec la vie*. Alcan éd. Paris, 1922.
- NAGEOTTE. — Utilisation des greffes mortes pour la réparation chirurgicale des tissus de nature conjonctive. *Trav. au Labor. d'Histol. Comp. du Coll. de France*, 1918.

- NAGEOTTE. — Décroissance et disparition de la substance conjonctive dans l'organisme. *Trav. du Labor. d'Histol. Comp. du Coll. de France*, 1919.
- NAGEOTTE. — Ostéogénèse dans les greffes de cartilage mort. *Trav. du Labor. d'Histol. Comp. du Coll. de France*, 1919.
- NATHAN. — Les réactions générales du tissu osseux. *Pr. Méd.*, 1920.
- OKINCZYK. — De la ligature et de la suture osseuse amovibles dans les fractures compliquées et infectées en chirurgie de guerre. *Soc. de Chir.*, Paris, 1915.
- OLLIER. — Greffes osseuses. *Gaz. Méd. de Paris*, 1858 et 1859.
- OLLIER. — Des sutures métalliques. *Gaz. Hebdom.*, 1862.
- OLLIER. — *Traité expérimental et clinique de la régénération des os et de la production artificielle du tissu osseux*, 1867.
- OLRY. — L'ostéosynthèse temporaire chez l'enfant. *Thèse de Paris*, 1927.
- OMBRÉDANNE. — L'ostéosynthèse temporaire chez l'enfant. *Congrès de Milan*, 1924.
- OMBRÉDANNE. — Application de l'ostéosynthèse temporaire à la rotation des os longs suivant leur axe. *Bull. Acad. Méd. de Paris*, 1927.
- PATEL. — Ostéosynthèse primitive avec la plaque laissée à nu. *Bull. et Mém. Soc. de Chir.*, 1918.
- PICOT. — L'intervention chirurgicale et l'ostéosynthèse dans les fract. de Dupuytren. *Bull. Méd.*, 1924.
- PLISSON. — Les principes généraux du traitement sanglant primitif des fractures diaph. fermées récentes. *Progrès Méd.*, 1927.
- POLICARD. — Les mécanismes physiologiques fondamentaux de la substance osseuse. *Journ. Méd. de France*, 1927.
- POLICARD. — Sur quelques problèmes de la physiologie osseuse. *Bruzelles Méd.*, 1928.
- PRENANT (A.). — Structure et rôle des ostéoblastes dans les résorptions osseuses. *Bull. Acad. de Méd.*, 1908.
- PRENANT (M.). — Étude cytologique du calcaire. *Bull. Biol. de France et Belgique*, 1924.
- RIGAL et VIGNAL. — Recherches expérimentales sur la formation du cal. *Éc. prat. des Hautes Ét. Lab. d'Histol. du Coll. de France*, 1881.
- ROBINEAU et MORUZI. — Ostéosynthèse par manchon métallique dans les fractures diaph. de l'adulte. *Journ. de Chir.*, 1928.
- ROLLAND (P.). — Contribution à la pratique de la chirurgie osseuse. *Thèse de Paris*, 1920.
- SIMON. — La greffe osseuse. Étude biologique. *Rev. de Chir.*, 1922.
- SIMON (R.) et STULZ (E.). — De l'ostéosynthèse à prothèse perdue dans les fractures diaph. compliquées. *Soc. de Chir. de Paris*, 1926.
- SOUPAULT. — Principes généraux de technique pour l'ostéosynthèse. *Paris Méd.*, 1925.
- TAVERNIER. — Les indications de l'ostéosynthèse dans les fractures fermées des grands os longs. *Lyon Méd.*, 1928.
- TIXIER. — Ostéosynthèse par plaque métallique dans les pseudarthroses à la phase de suppuration. *Bull. et Mém. Soc. Chir.*, 1917.

- VILLARD. — De la fixation métallique des fragments osseux dans les fractures compliquées. *Lyon Chir.*, 1916.
- VINCENT. — Recherches expérimentales sur le pouvoir ostéogène de la moelle des os. *Rev. de Chir.*, 1884.
- WIARD. — Fracture de la diaphyse radiale traitée par ostéosynthèse sans immobilisation consécutive. *Soc. de Chir.*, 1927.

AUTEURS ÉTRANGERS

- ALBEE. — Les usages chirurgicaux de la greffe osseuse. *Surg. Gyn. and Obst.*, 1914.
- ALBEE. — The fundamental principles involved in the use of the bone-graft in surgery. *Ann. S. Med. Sciences*, 1915.
- ASADA. — Histogenèse et ossification du cal. *Soc. Chir. de Paris*, 1928.
- AXHAUSEN. — Nouvelles recherches histologiques sur la transplantation du tissu osseux chez l'homme. *Arch. f. Klin. Chir.*, 1909.
- AXHAUSEN. — Die aseptische Knochennekrose und ihre Bedeutung f. die Knochenpathologie. *Deutsche Med. Wochschr.*, 1914.
- BAEYER. — Fremdkörper im Organismus Einheilung. *Beitr. z. Klinische Chirurg.*, t. LVIII.
- BANCROFT. — Clin. deduction following a study of bone repair. *New York State Journ. of Med.*, 1924.
- BARMVATER. — Fréquence de l'ostéite après ostéosynthèse. *Hospitzstidende*, 4 octobre 1928.
- BARTLETT et HEWITT. — Experimental and Clinical work to determine the value of Lane's bone plating. *Journ. of. Am. Med. Assoc.*, 21 octobre 1911.
- BARTLETT. — Further experim. and Clinic. works bearing on the value of the Lane bone plates. *Journ. of the Am. M. As.*, 1912.
- BASCHKIRTZEFF. — Recherches expérimentales sur la transplantation des os longs. *Clin. Arch. Voliaminova*, 1911.
- BERG (A.-A.) et THALHEIMER (W.). — Regeneration of bone s. *Annals of Surgery*, mars 1918.
- BERGMANN. — Experimentelle Untersuchungen über Druckwirkung in der Knochenmarkhöhle. *Arch. f. Klin. Chir.*, 1927.
- BIDDER. — Zur Frage über die Herkunft des sog. inneren Callus. *Zentralblatt für Chir.*, 1876.
- BIER. — Sur la régénér. osseuse. Les différents types de cal. *Arch. f. Klin. Chir.*, 1923.
- BLOCK. — Über das Verhalten des Knochens nach Bohren und Nageln und bei Drahtextension. *Arch. f. Klin. Chir.*, 1925.

- BONN. — Über den primären Nahtverschluss bei off. Knochenbrüchen der Extremitäten. *Arch. f. Orthop. u. Unfall. Chir.*, 1924.
- BORCHARDT. — La technique de la soudure des fils dans l'ostéosynthèse. *Deutsche Zeitsch. f. Chir.*, 1927.
- BORCHGREVINK. — Die Drahtextension. *Acta chir. Scandin.*, 1925.
- BORST UND RIEDINGER. — *Sitzungsberichte der phys. med. Gesellsch. Zu Würzburg*, 1908.
- BÜCH. — Contrib. à l'étude de la régénération osseuse. *Arch. f. Klin. Chir.*, 1927.
- BURCKHARDT. — Régénération osseuse. *Brun's Beitr zur Klin. Chir.*, 1926.
- BUSCH. — Exper. Untersuch. über Östeitis und Nekrose. *Arch. f. Klin. Chir.*, 1877.
- CONE. — Activité des cellules osseuses. *The Journ. of Bone and Joints Surg.*, 1925.
- DAHL-IVERSEN. — Sur la fréquence et la durée des phén. d'ostéite obs. dans 274 cas. *Hospitaltidende*, 1927.
- DOMINGO PRAT. — Sur la régénération osseuse. *Journ. de Chir.*, 1927.
- DRIELS et FROMME. — Sur la technique de la suture osseuse métallique. *Bruns Beitr. zur Klin. Chir.*, 1927.
- EISING. — Physiologie des os en rapport avec leur pathol. *The Amer. Journ. of Surg.*, 1927.
- ELLENBERGER et BAUM. — *Anatomie descriptive et topographique du chien* (traduit par Y. Deniker). 1894.
- FITTE. — L'évolution des fractures opérées par ostéosynthèse métallique extra-osseuse. *La Semana Medica*, 1926.
- FRANKENSTEIN. — Über die blutige Behandlung der Knochennähte nach Lambotte. *Deut. Zeitsch. für Chir.*, Leipzig, 1912.
- FRÜND. — Les causes de la suppuration des pièces métall. implantées en vue d'une ostéosynthèse. *Zentralbl. f. Chir.*, 1926.
- FUJINAMI. — Über die Gewebsveränderungen bei der Heilung von Knochenfrakturen. *Ziegl Beitr. allg. Pathol.*, 1901.
- FU-JIN-PAN. — La destruction de la cheville de Lexer dans les espaces articulaires. *Arch. f. Klin. Chir.*, 1926.
- GAZOTTI. — Les réactions de l'os vis-à-vis de l'action mécanique des moyens de fixation métallique. *Annali Itali dy Chir.*, 1925.
- GREY. — An exper. study of the factors responsible for non infections bone atrophy. *Bull. John Hopk. Hosp.*, 1915.
- HANAU. — Exper. Untersuchungen über Callusbildung. *Verhandl der Gesellsch. deutsch. Naturf. und aerzte*, 1897.
- HAAS. — Regeneration of Bone from Periostum. *Proc. Soc. Exp. Biol. and Méd.*, New-York, 1913.
- HAGENTORN. — Contrib. à la suture osseuse. *Zentralbl. f. Chir.*, 1926.
- HEUSS. — Sur la suture osseuse à la manière de Kirschner. *Zentralbl. f. Chir.*, 1925.
- HEY-GROVES. — Experimental principles of the operative treatment of fractures and their clinical application. *The Lancet*, 14 février 1914, 21 février 1914.

- HEY-GROVES. — *Traitement moderne des fractures*. 1 volume éd., 1921.
- HEY-GROVES. — Damages to Bones and Reputations. *Lancet*, 1928.
- JACKSON. — Zur Histologie und Histogenese des Knochenmarkes. *Arch. f. Anat. u. Phys.*, 1904.
- JONAS MOONS. — Disc. du rapport du Dr Neumann sur les causes d'insuccès de l'ostéosynthèse. *Soc. Belge de Chir.*, 1926.
- JUVARA. — Procédé d'ostéosynthèse par le boulon amovible. *Pr. Méd.*, 1920.
- JUVARA. — Traitement ostéosynthétique des diaphyses par le fixateur externe et la ligature. *Soc. de Chir. de Paris*, 1922.
- JUVARA. | Contrib. à l'étude de l'ostéosynthèse. *Revista de Chir.*, 1921.
- JUVARA. — Contribution à l'ostéosynthèse des fractures de la diaphyse. *Soc. de Chir. de Paris*, 1928.
- JUVARA. — A propos du traitement ostéosynthétique des fractures obl. du tibia. *Soc. de Chir. de Paris*, 1928.
- KAPPIS. — Beiträge zur verzögerten Knochenheilung und Pseudarthrose. *Deutsche Zeitschrift f. Chir.*, CLXV, 1921.
- KIRSCHNER. — Zur Technik der Knochennaht. *Zentralbl. für Chir.*, 1925.
- KIRSCHNER. — Techn. of open reduction of fract. *Surg. Gyn. a. Obst.*, 1927.
- KLEINSCHMIDT. — Über Knochennaht. *Zentralbl. f. Chir.*, 1925.
- KLINKE. — Conditions physico-chimiques de l'ossification. *Schweiz. Med. Wochschr.*, 1927.
- KOCH. — Sur la régénération de l'os. *Arch. f. Klin. Chir.*, 1925.
- KOCH. — Exper. Studien über Knochenregeneration und Knochencallusbildung. *Beitr. z. Klin. Chir.*, LXXXII.
- LAMBOTTE. — *Chirurgie opératoire des fractures*. Masson, 1913.
- LAMBOTTE. — Contribution au cerclage des os au moyen de rubans métalliques. *Pr. Méd.*, 1920.
- LAMBOTTE (A.). — Sur les résultats définitifs de l'ostéosynthèse. *Bull. et Mém. Soc. de Chir.*, 1925.
- LAMBOTTE. — Quelques réflexions sur l'emploi de l'enchevillement central en ostéosynthèse. *Paris Chir.*, 1927.
- LANE. — Operative treat. of simple fractures. *The Lancet*, 1910.
- LANGE. — Le fil d'acier Krupp comme matér. d'ostéosynthèse. Rech. expér. sur l'incorp. du corps étr. dans l'organ. et sur l'infl. des diff. formes d'acier sur la formation du cal. *Zeitsch. für Orthop. Chir.*, 1926.
- LANER. — 31 ostéosynth. par plaque de Lane. *Klin. Wochschr.*, 1927.
- MAGNUS. — Sur la technique de la suture osseuse. *Zentralbl. f. Chir.*, 1926.
- MARTIN. — Ueber experimentelle. Pseudarthrosenbildung und den Zusammenhang von Periost Mark ou Kortikalis. *Berliner Klinische Wochenschrift*, t. LVII, 1920.
- MERCIER. — L'ostéosynthèse métallique temporaire. *Un. méd. du Canada*, 1927.

- MERLANI. — Ricerche sperimentale sulla prod. di cartilagine nel processo di guarigione della fratture. *Polislinico*, 1910.
- MÜLLER. — Exper. Untersuchungen über mechanisch bedingte Umbildungsprozesse amwachsenden u. fertigen Knochen, *Beitr. z. Klin. Chir.*, 1922.
- MÜLLER. — Die normale und pathologische. *Physiologie der Knochen*, Leipzig, 1924.
- NEUMANN. — Les causes d'insuccès de l'ostéosynthèse. *Ann. de la Soc. Belge de Chir.*, 1926.
- ORSOS. — Über Knochennaht. *Zentralbl. f. Chir.*, 1925.
- ORSOS. — Ueber das Entstehen elektrischer Ströme bei Knochennähten mit verschiedenen Metallen. *Orvosi Gletilap*, 1925.
- PARTSCH. — Études sur la régénération osseuse. *Deutsche Zeitschr. f. Chir.*, 1924.
- PAYR. — Operative Behandlung der Knochenbrüche. *Deutsche Chir. Kongress*, 1924.
- PFAB. — Contrib. à la question de la régénération osseuse. *Zentralbl. f. Chir.*, 1927.
- POTARCKA. — Certetari exper. a supra protesei metalice superiostale in tratamentul imediat al nuorfracturi osose. *Spitalue*, 1895.
- RABL. — Die Theorie der Kalkablagerung im Organismus und ihre praktische Bedeutung. *Münch. Méd. Wochschr.*, 1924.
- RABL. — Experimentelle Untersuchungen über Druckwirkung auf den Knochen. *Arch. f. Klin. Chir.*, 31 mars 1927.
- ROHDE. — Über den Ablauf der Regenerationsvorgänge am Röhrenknochen bei erhaltener u. geschädigter Gefäßversorgung. *Arch. f. Klin. Chir.*, 1923.
- ROHDE. — Sur la régénér. oss. et sur la format. métaplastique d'os. *Münch. Med. Wochschr.*, 1924.
- ROST. — Exper. und klin. Untersuchungen über chron. Entzündungen des Knochenmarkes. *Deutsche Zeitschr. für Chir.*, 1915.
- ROYSTER (H.-A.). — Old Principles in the management of fractures. *Internat. Journ. of Surgery*, vol. XXXIII, 1920.
- SCHUBERT. — Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss des Druckes auf das Längenwachstum. *Arch. f. Klin. Chir.*, t. CXXXVI, 1925.
- SERRA. — Contribution à l'étude histologique des greffes osseuses libres. In. « *Chir. degli org. di movimento* », vol. I, 1917.
- SHELLING et HALPERSOHN. — Méthode rapide de décalcification. *Arch. of. Pathol.*, 1928.
- SOPOTEROFF. — Zur Technik der Knochennaht. *Zentralbl. f. Chir.*, 1925.
- SOMMER. — Steinnagel oder Draht-extension. *Zentralbl. f. Chir.*, 1925.
- SORRENTINO. — Ricerche sperimentale sulla formazione de callo osseo. *Arte Med.*, 1900.
- SPULER. — Über die Knochenbildung unter normalen und pathologischen Verhältnissen. *Münch. Med. Wochschr.*, 1914.
- STEINMANN. — Die Nagelextension der Knochenbrüche. *N. Deutsche Chir.*, 1912.

- STREISSLER. — Der gegenwärtige Stand unserer klinischen Erfahrungen über die Transplantation lebenden menschlichen Knochens. *Brun's Beiträge zur klinischen Chirurgie*, 1911.
- TROJAN. — Über ein neues Verfahren der Knochennaht. *Zentralbl f. Chir.*, 1927.
- TUNSTALL TAYLOR. — Newer Methodes of treatment in non union of fractures. *Surg. Gyn. Obst.*, juin 1925.
- VALLS. — Les résultats éloignés de l'ostéosynthèse. *Arch. Franco-Belges de Chir.*, 1925.
- VON VOLKMANN. — Chirurgische Erfahrungen über Knochenverbiegungen und Knochenwachstum.
- WATT. — The deposition of calcium carbonate and calcium phosphate in bone and in calcified areas. *Anat. Rec.*, 1924.
- WELCH. — The reduction and control of unmanageable fractures by means of a metal pin. *Surg. Gyn. Obst.*, n° 6, 1924.
- WELLS et BENSON. — Studies on calcification and ossification. *Journ. med. Research.*, 1908.
- WILICH. — Contrib. expér. à la régénér. osseuse et à la formation des pseudarthroses. *Arch. f. Klin. Chir.*, 1924.
- WINGATTE TODD et ILIER. — Les phén. des premiers stades de réparation des os. *Annals of Surg.*, 1927.
- WOLFF. — *Die Gesetze der Transformation der Knochen*. 1 vol. chez Hirschwald, Berlin, 1892.
- ZANDEK. — *Zur Transformation des Knochen-Callus. Exper. Untersuchungen und ihre klinische Bedeutung*, Berlin, 1900.
- ZIEROLD. — Réaction de l'os aux différents métaux. *Arch. of Surgery*, 1924.
-

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	11
HISTORIQUE.	15
A. — TECHNIQUE D'EXPÉRIMENTATION	21
I. — TECHNIQUE OPÉRATOIRE.	21
A. — Technique générale.	21
B. — Technique d'ostéosynthèse.	24
I. — Première série d'expériences	24
II. — Deuxième série d'expériences.	25
II. — TECHNIQUE ATATOMO-PATHOLOGIQUE	27
III. — DIFFICULTÉ DE LA MÉTHODE EXPÉRIMENTALE	29
B. — COMPTES RENDUS DES INTERVENTIONS.	31
RÉSULTATS MACROSCOPIQUES ET HISTOLOGIQUES	31
I. — PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES. — Application d'un matériel d'ostéo- synthèse sans fracture expérimentale.	35
Observation macroscopique	34
II. — DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES. — Application d'un matériel d'ostéo- synthèse avec fracture expérimentale	57
TABLEAU SYNOPTIQUE.	107
C. — INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS.	115
I. — Considérations générales sur les réactions observées dans les tissus et dans l'os au cours des ostéosynthèses métalliques.	115
II. — Réactions suivant le type mécanique du matériel	125
III. — Réactions de l'os suivant la constitution chimique du matériel employé.	131
IV. — Réaction de l'os suivant la durée d'application du matériel métallique.	134
V. — Réactions de l'os suivant le mode d'application mécanique du matériel.	136

D. — DISCUSSION DU PRINCIPE MÉCANIQUE DE L'OSTÉOSYNTÈSE ET CONCLUSIONS PRATIQUES.	151
CONCLUSIONS PRATIQUES	164
E. — APPLICATION A LA CHIRURGIE HUMAINE.	167
CONCLUSIONS	177
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.	179
TABLE DES MATIÈRES	189

